

**JATES 50周年記念**

# **科学技術からイノベーションへ**

## **事例と分析**

**2017年2月**

- **一般社団法人 科学技術と経済の会**  
**(JATES)**



# 目 次

<b>第 1 章 イノベーション=その時代背景=</b> .....	<b>12</b>
1.1 イノベーションに関する研究考察.....	14
1.1.1 イノベーションの研究.....	14
1.1.2 イノベーションの担い手に関する研究.....	28
1.2 ビジネスモデルとイノベーション.....	33
1.2.1 骨格.....	34
1.2.2 新たな発想.....	41
1.3 イノベーションの今日的課題.....	43
<b>第 2 章 わが国のイノベーション事例その 1</b> .....	<b>50</b>
2.1 電子コンパス(旭化成グループ)(2012 年度文部科学大臣賞).....	53
2.1.1 概要と開発の動機.....	53
2.1.2 事業化までの困難性・市場の状況.....	54
2.1.3 成功要因と今後のビジョン.....	56
2.2 プログラミング言語 RUBY(まつもとゆきひろ氏)(2012 年度会長賞).....	58
2.2.1 概要・研究開発の動機.....	58
2.2.2 事業化までのプロセス・現況と今後のビジョン.....	59
2.3 SDN(SOFTWARE DEFINED NETWORK)オープンフロー(NEC)(2012 年度会長賞).....	62
2.3.1 概要.....	62
2.3.2 市場の状況・今後のビジョン.....	64
2.4 高電圧動作・高効率窒化ガリウムトランジスタ(GaN HEMT)(住友電気工業)(2013 年度 文部科学大臣賞).....	68
2.4.1 概要.....	68
2.4.2 事業化までの困難性・市場の状況.....	69
2.5 機能性インナーウェアの開発(ヒートテック®)(ファーストリテイリング、東レ)(2013 年度経 済産業大臣賞).....	73
2.5.1 概要・動機.....	73
2.5.2 事業化までの困難性・市場の状況.....	74

2.5.3 成功要因・今後のビジョン .....	75
2.6 URUP(ULTRA RAPID UNDER PASS)工法(大林組)(2013年度会長賞) .....	75
2.6.1 概要 .....	75
2.6.2 研究開発の動機・事業化までの経緯 .....	76
2.6.3 市場の状況 .....	77
2.7 長期冷蔵保存技術による生鮮品の新たなコールドチェーン物流インフラ(MARS COMPANY) (2013年度会長賞) .....	78
2.7.1 概要 .....	78
2.7.2 事業化までの困難性 .....	79
2.8 世界 No.1 精度の顔認証技術を応用した安心・安全な社会の実現(NEC)(2014年度文 部科学大臣賞) .....	81
2.8.1 概要 .....	81
2.8.2 イノベーションによる変化 .....	84
2.8.3 事業化・アウトカム .....	85
2.9 ビジネスジェット機 HONDAJET の開発(ホンダエアクラフト)(2014年度経済産業大臣賞) .....	87
2.9.1 はじめに～ビジネスジェット機とは .....	87
2.9.2 ホンダの革新技術 .....	88
2.9.3 量産から販売までの道程 .....	94
2.9.4 原点の重要性 .....	96
2.10 少量採血でのアミノ酸測定によるがんリスク検査の事業化(味の素)(2014年度会長賞) .....	99
2.10.1 概要 .....	99
2.10.2 イノベーションによる変化 .....	101
2.10.3 事業化・アウトカム .....	102
2.11 ロングテールの飲食店市場の生産性向上に貢献する独自インフラの構築(ぐるなび) (2014年度会長賞) .....	103
2.11.1 概要 .....	103
2.11.2 取組みによって生み出された変化 .....	105
2.11.3 事業化・アウトカム .....	106

2.12	安全計装システム PROSAFE-RS の事業化(横河電機)(2014 年度会長賞)	109
2.12.1	概要・動機	109
2.12.2	取組みによって生み出された変化	110
2.12.3	事業化・アウトカム	111
2.13	化学合成人工抗体バイオ技術の海外スピンオフベンチャー設立による事業化(富士通研究所、APTA)(2014 年度会長賞)	114
2.13.1	概要	114
2.13.2	取組みによって生み出された変化	116
2.13.3	事業化・アウトカム	118
2.14	自動車の次の 100 年に向けた MIRAI の開発(トヨタ自動車)(2015 年度文部科学大臣賞)	119
2.14.1	概要	119
2.14.2	技術の概要	121
2.14.3	まとめ(水素エネルギー社会実現に向けて)	128
2.15	航空機用炭素繊維複合材料の開発(東レ)(2015 年度経済産業大臣賞)	129
2.15.1	概要	129
2.15.2	航空機 1 次構造材複合材料の開発	134
2.15.3	地球環境問題・今後へ向けて	142
2.16	瀬祭の取り組み(旭酒造)(2015 年度会長賞)	146
2.16.1	概要	146
2.16.2	瀬祭の取り組み	147
2.17	世界貴重文献資産のデジタル保存における新たな事業モデル構築の取り組み (NTT データ)(2015 年度会長賞)	155
2.17.1	概要	155
2.17.2	事業の概要と展望	156
2.18	「インターナビ」のプローブデータを用いた快適、安全、安心への取り組み(本田技研)(2015 年度会長賞)	162
2.18.1	概要と初期のインターナビ	162
2.18.2	インターナビの第 3 世代と災害時支援	170
2.18.3	今後のビジョン	175

<b>第 3 章 わが国イノベーション事例その 2(20 世紀後半～21 世紀初)</b> .....	<b>183</b>
3.1 材料 .....	185
3.1.1 ポリイミド Polyimides(宇部興産) .....	185
3.1.2 リチウムイオン電池用電解液(宇部興産) .....	188
3.1.3 MS(変成シリコーン)ポリマー(シリル末端ポリエーテル樹脂)(カネカ) .....	189
3.1.4 太陽光発電システム(カネカ) .....	192
3.1.5 薄板ハイテン(高張力鋼板)(神戸製鋼所) .....	194
3.1.6 スパッタリングターゲット部材(神戸製鋼所) .....	196
3.1.7 シクロオレフィンポリマー(日本ゼオン) .....	199
3.1.8 光学フィルム(位相差フィルム)(日本ゼオン) .....	202
3.1.9 ゼオマック(低誘電率材料)(日本ゼオン) .....	205
3.1.10 アルミナファイバー(三菱化学) .....	208
3.2 産業機械 .....	210
3.2.1 連続真空浸炭炉(IHI) .....	210
3.2.2 冷凍機(住友重機械工業) .....	212
3.2.3 精密ステージ(住友重機械工業) .....	214
3.2.4 PET 用サイクロトロン(住友重機械工業) .....	215
3.2.5 小型風力発電システム(富士重工業) .....	217
3.3 輸送用機械 .....	219
3.3.1 航空機用ジェットエンジン(IHI) .....	219
3.3.2 ハイブリッド車(トヨタ自動車) .....	221
3.3.3 自動車安全技術(トヨタ自動車) .....	223
3.3.4 ミニショベル(小松製作所) .....	225
3.3.5 トロイダル CVT(日産自動車) .....	227
3.3.6 e-4WD システム(日産自動車) .....	229
3.3.7 CVT(Continuously Variable Transmission)(富士重工業) .....	232
3.3.8 四輪駆動車(富士重工業) .....	234
3.3.9 オールアルミエンジン(富士重工業) .....	236
3.3.10 二輪車アドバンスド・ブレーキ・システム(本田技研) .....	237

3.3.11 V6 3.5 リッターVTEC エンジン(本田技研)	239
3.4 電気・電子	242
3.4.1 2波長レーザーダイオード(2色ピックアップユニット)(ソニー)	242
3.4.2 CMOS センサー(東芝)	245
3.4.3 エキシマレーザー(小松製作所)	246
3.4.4 垂直磁気記録(日立製作所)	248
3.4.5 ポリエチレンカーボネート電解質リチウム二次電池(日立グループ)	250
3.4.6 光半導体レーザー(古河電気工業)	252
3.5 情報・通信	254
3.5.1 DVD(東芝)	254
3.5.2 日本語ワープロ(東芝)	255
3.5.3 音声認識技術(日本電気)	258
3.5.4 画像処理用並列プロセッサ(日本電気)	261
3.5.5 高速処理・低消費電力プロセッサコア(日立製作所)	264
3.5.6 指静脈認証技術(日立製作所)	267
3.6 化学・バイオ	269
3.6.1 フェロモン利用害虫駆除剤(信越化学)	269
3.6.2 エクセレックス(ExcereX)(三井化学)	271
3.6.3 ポリオレフィン触媒(三菱化学)	275
3.6.4 光・磁気ディスク(三菱化学)	276
3.7 その他(新規工場、製造技術等)	278
3.7.1 独立系発電事業:IPP(Independent Power Producer)(神戸製鋼所)	278
3.7.2 塩化ビニル製造技術(信越化学)	280
3.8 世界最強ネオジム磁石発明の軌跡	282
3.8.1 技術の概要	282
3.8.2 ネオジム磁石発明までの道	287
3.8.3 市場動向	292
3.8.4 イノベーションのプロセス	293
3.9 技術革新による造船業の競争力強化の軌跡	298
3.9.1 時代背景	298

3.9.2	日本を襲った経済ショックと韓国造船業の台頭 .....	304
3.9.3	耐え抜いて迎えた未曾有の造船ブーム .....	309
3.9.4	次世代造船業に求められる技術革新(まとめ) .....	311
3.10	わが国の民間航空機用エンジン事業のこれまでと将来展望 .....	315
3.10.1	戦後の日本での航空機用エンジン事業の沿革 .....	315
3.10.2	IHI のエンジン事業の開発 .....	317
3.10.3	民間航空機用エンジンの技術 .....	318
3.10.4	民間航空機用エンジン事業の特徴と展望 .....	321
3.11	まとめ .....	326
<b>第 4 章</b>	<b>わが国イノベーション事例その 3(20 世紀前半) .....</b>	<b>333</b>
4.1	発酵技術のイノベーション～味の素 .....	334
4.1.1	うま味の認知 .....	334
4.1.2	発酵技術の開花 .....	336
4.1.3	事業拡大 .....	343
4.2	八木アンテナ .....	346
4.2.1	時代的背景 .....	346
4.2.2	技術の概要 .....	351
4.2.3	事業化 .....	352
4.3	セラミック開拓のイノベーション～セラミック・コンデンサー .....	354
4.3.1	時代背景 .....	354
4.3.2	技術の特徴と発明 .....	356
4.3.3	事業化 .....	359
4.3.4	オープンイノベーション・産学連携 .....	364
4.4	フェライト .....	366
4.4.1	時代の背景 .....	366
4.4.2	発明者 .....	367
4.4.3	技術の特徴・発見の経緯 .....	367
4.4.4	事業化 .....	370
4.4.5	オープン・イノベーション .....	372

4.5	地震国における超高層建築技術の開発 .....	375
4.5.1	はじめに .....	375
4.5.2	柔構造の開発 .....	376
4.5.3	鉄筋コンクリート造“もう一つの超高層のあけぼの”【1970年代】 .....	381
4.6	日本における永久磁石材料の研究開発 .....	387
4.6.1	はじめに .....	387
4.6.2	KS 磁石鋼の開発 .....	388
4.6.3	MK 鋼の開発 .....	391
4.6.4	新 KS 鋼の開発 .....	392
4.6.5	日本における産学研究体制の整備(臨時理化学研究所(東北大金研)の発足と本多光太郎) .....	395
<b>第5章 分析～これからのイノベーション推進に向けて .....</b>		<b>398</b>
5.1	これまでのイノベーション事例から学ぶべきもの .....	398
5.1.1	事例研究の整理 .....	398
5.1.2	特徴 .....	406
5.2	イノベーション成功事例からの一考察 .....	414
5.2.1	アプリケーションの重要性 .....	414
5.2.2	長期間にわたる投資 .....	416
5.2.3	量産技術・現場力 .....	417
5.3	これからのイノベーション手法 .....	418
5.3.1	パイプライン .....	419
5.3.2	マネジメント .....	420
5.3.3	ビジネスモデル .....	421
5.3.4	オープン・イノベーション .....	422
5.4	科学技術とイノベーションで成長を目指す JATES 提言 .....	427
5.5	産業競争力強化 .....	438
5.5.1	競争力について .....	438
5.5.2	競争力強化のための JATES 提言 .....	439

<b>第 6 章 科学技術と経済の会 (JATES) の活動～50 年を振り返る</b> .....	<b>483</b>
6.1 創設期の 10 年間～自由化路線のもと自主技術開発志向の時代 .....	484
6.2 オイルショックと通貨ショックを乗り越え強みを発揮～1977～1986 年 .....	496
6.3 自主技術開発へ向かうもバブル崩壊～1987～1996 年 .....	516
6.4 苦しい環境下での技術開発推進の時代～1997 年～2006 年 .....	541
6.5 21 世紀を迎えて 10 年～いまだデフレから脱却できず .....	570
<b>第 7 章 付録 政策～国による研究開発支援施策</b> .....	<b>595</b>
7.1 科学研究費助成(科研費) .....	597
7.2 公的資金による代表的技術開発支援施策 .....	602
7.2.1 文部科学省 .....	602
7.2.2 経済産業省 .....	610
7.2.3 防衛省 .....	623
7.2.4 厚生労働省 .....	627
7.2.5 国土交通省 .....	633
7.2.6 内閣府 .....	637
7.3 研究開発税制 .....	647
7.3.1 研究開発税制のしくみ .....	647
7.3.2 種々の支援施策と税制による支援の比較 .....	652

とびら

## 第1章 イノベーション=その時代背景=

従来、わが国では科学技術と産業・企業・個人による経済活動とが切り離されて考えられて来た節がある。科学技術は学問であり、象牙の塔で行われるもの、一方経済活動は、お金を稼ぐこと、俗世界のことと考えられがちであった。しかし、あらゆる経済活動—輸送、エネルギー、機械、居住、食生活、エンタメ等々—は科学技術の基盤なくしては成り立ち得ない。科学技術がモノやサービスを生み出し、お金を循環させ、生活を豊かにしていることとなっている。一方で、すべて偉大な発明や発見、芸術を含めて、をつくり出しているものは人であってその人の生活を支えるものは経済である。人を支えている経済活動が最先端の学問の成果や科学技術を生み出す原動力である、といっても間違いではないであろう。

「太った豚になるよりは、痩せたソクラテスになれ。」はかつてある大学の卒業式の式辞で述べられた言葉である。内容のよし悪しは別として、学究と実社会は別世界と考えられているように思われる。学問と実学とはそんなに離れた存在ではないのではないのか。ライト兄弟初飛行成功の陰にはラングラー教授(ピッツバーグ大学)のデータがあった。G.ミッチェルはシェールガス掘削という大きなイノベーションを起こしたが、1980年代にあわせて HARC(ヒューストン先進研究センター)という10大学の研究組織をつくった。

キャンパス内で切磋琢磨されている方々にも衣食住は必要で、その原資はお金である。百鬼夜行の世界で生きている人にとっても科学技術なしでは仕事ができない。学と産とのいろいろな意味での交流、人的な交流、成果や業績の交流を含め、がもっと進められればわが国のイノベーションはもっともっと進むであろう。

科学技術立国は政策としても重視されているが、かつては経済や社会との結びつきは必ずしも考えられてはいなかった。例えば、1996年から5年単位で「科学技術基本計画」が政府によって策定されているが、初期の頃本計画では、科学技術が単独での活動でそれ自体が価値を持つ、とされていた。(表 1-1 の第1期の科学技術基本計画と第5期との対比を参照。)あまり経済や社会との関係性については考えられていなかったように見受けられる。

その科学技術基本計画においても、第4期(2011年度～2015年度)の頃からイノベーションという表現が見られるようになった。第4期計画では、「科学技術政策に加えて、成果の利活用に至るまでのイノベーション政策も幅広く対象に含め、これらを一体的に推進する。」とされている。2016年からの第5期では明確に経済成長や雇用への貢献ということが謳われるようになった。政府の組織でも科学技術から「イノベーション」重視への転換が見られるようになった。

科学技術と経済や社会の結びつきは本来密であって、科学技術も人々のくらし・生活、経済発展

に資するものでなければならない。科学技術に対する評価も、論文の数というような学問レベルだけでなく社会・経済への貢献度、具体的には経済成長とか雇用の拡大、生産性の向上、新産業の創出、輸出や外貨獲得など、の視点がもっと高くあるべきではないか。

なお、一見実世界と無縁に見える基礎的・基本的領域での研究は必要でないということでは決してない。基礎的な研究は実世界と関わりを持つことが相当先の将来になるため、無縁のように見えるだけである。むしろ、独創的な研究は破天荒ではないかといわれるくらい幅広く取り上げて、大きな網をかけることが将来のために必要であろう。

表 1-1 わが国の「科学技術基本計画」対比

第1期科学技術基本計画(1996年)	第5期科学技術基本計画(2016年)
<p>様々な科学技術の革新的発展をもたらすとともに、その成果が人類の共有し得る知的資産として<u>それ自体価値を有し、人類に対し貢献し得る基礎研究への期待も非常に大きくなっている</u>。特に、我が国は、今や自ら率先して未踏の科学技術分野に挑戦していくことが強く求められている。科学技術は、<u>次代を担う若者たちが夢と希望と高い志を持つことを可能とし、また人類の未来への展望を開くもの</u>といえる。</p>	<p>第5期科学技術基本計画は、「政府、学界、産業界、国民といった幅広い関係者が共に実行する計画」であり、この基本計画の実行を通じて、<u>我が国の経済成長と雇用創出を実現し、国及び国民の安全・安心の確保と豊かな生活の実現、そして世界の発展に貢献していく</u>。</p>

当会(JATES)はかねてからイノベーション、すなわち社会や生活、経済活動における何らかの変化、特に不連続な変化、につながる科学技術の役割が重要であるということを主張してきた。その主張は最近に至って、当然とする風潮が広まってきたと感ぜられる。政策面でも科学技術費予算というようなインプットが政策の目標となるのではなく、科学技術からいかに新事業が生まれたか、投資や雇用が生まれたか、成長に寄与があったか、が重視されなければならないと考える。政策の具体的な実施についても資金投入・助成・補助金だけでなく、税制や企業会計・減価償却のしくみ、新技術の試用・使用やそれによる評価および普及、古い慣行や規制の改革などトータルにイノベーションが進んでいくよう検討がなされるべき、と考えるものである。

その「イノベーション」については、有史以来多くの事例が起こって今日の豊かな生活がもたらされている。それらを学問として研究し、整理・体系化する試みが特に近年行われている。その時代背景

に応じて、多くの人々が様々な角度からイノベーションを論じているので、そこで先ず本章では、イノベーションについてどのような視点から、どのような事が論じられているのか俯瞰する。

## 1.1 イノベーションに関する研究考察

### 1.1.1 イノベーションの研究

#### (1) イノベーションのとらえ方

“イノベーション”その語源は、ラテン語の *innovare* から発している。その意味するところは「何かを新しくする。」ということである[18]。このイノベーションについて、最初に理論化したのがオーストリアの経済学者シュムペーター (Schumpeter J. A., 1883-1950) である。彼は 20 世紀の前半に、「経済効果をもたらす革新」として「新結合」を唱え、「新結合」には、以下の 5 つの種類があるとした[1]。

新製品の開発

新生産手段の導入

新規市場の開拓

原材料・半製品の新しい獲得源

新しい組織の達成

そして、シュムペーターは、連続的、漸進的イノベーションと、非連続的イノベーションそれぞれの重要性を唱えた。すなわち、「生産とは利用できる種々の物や力の結合を意味し、生産物や生産方法や生産手段などの生産諸要素が非連続的に新結合することがイノベーションである。このイノベーションは内部から自発的に発生する経済の非連続的発展および創造的破壊につながるものである。」

ここに、イノベーションは経済活動の原動力であると言う考え方が出ている。シュムペーターについては次の(4)ア項でも取り上げる。

企業経営の視点から 20 世紀後半に、著名な P. ドラッカー (Drucker P. F., 米国, 1909-2005) は、企業活動にイノベーションの概念を導入し経営論を展開した。すなわち、「事業の目的は事業の中ではなく社会の中にあり、最大利潤の追求に代わる顧客の創造こそ事業の目的になりうる。そして、顧客を創造するために行う企業者の機能がマーケティングとイノベーションである。すなわち、事業とはマーケティングとイノベーションを行うことによって顧客を創造する活動である。」として、イノベーションを企業者の機能としている点が特徴である。

「認識のいかんにかかわらず、あらゆる実践は理論的な基盤すなわち原理を有する。企業家精神もまた実践であり、経済と社会に関わるひとつの原理を有する。それは、変化を健全かつ当然のこととみる原理である。すでに経験済みのことをより良く行うことよりも、新しいことを行うことに社会的な価値

を見出すという原理である。これこそ正に 200 年前、J.B.セイ(Jean- Baptiste Say、フランス、1767-1832)が『企業家』という言葉を作った時、彼が言わんとしたことの本质である。企業家という言葉はひとつの宣言、しかもそれは現状否定の宣言であった。企業家とは秩序を混乱させ、組織を破壊するものであった。企業家の責務とは創造的破壊である。[6]

イノベーションを受け入れる社会の立場からは、社会学者のロジャーズ(Everett M. Rogers、米国、1931-2004)は、イノベーションを実践する立場でなく、享受する立場で論じた。

「イノベーションとは、個人もしくはその他の採用する母体(ユニット)によって新しいと認知されたアイデア、行動様式、物である。」と定義し、これに“Diffusion”(拡散)という概念を導入した。

「知られることと実際の用に供されることとの間にはギャップがある。多くのイノベーションには、利用できるようになる時と広く採用される時の間に、時には数年の、長い時間が求められる。したがって、多くの個人や組織にとって『イノベーションが拡散する』時間をいかにスピードアップするかが共通的な課題となる。」

そして、“Diffusion”の事例としてペルーの山村における衛生概念の浸透をあげた。「ペルー山村の衛生を改善するために、水を煮沸すること、トイレを設置すること、廃棄物を焼却することなどいくつかの変化が必要であるとして、それを活動家が浸透させようとした。キャンペーンに始まって、個別家庭訪問などで説得を試みた。しかし、水の煮沸を嫌う原因は様でなく出身地別に異なるので、一様な説得は効を奏せず、活動家の努力は実を結ばなかった。イノベーション・オリエンテッドなやり方は成功しない、顧客オリエンテッドなアプローチが必要であることがこの事例から分かる。この事例から“Diffusion”の重要性が示される。

“Diffusion”とはイノベーションがあるルートを通して社会システムのメンバー間に時間をかけて伝わるプロセスである。一種の特別なタイプの「伝わること」であって、そのメッセージはその新しいアイデアに関するものである。情報を生み、共有する中でお互いに理解し合えるプロセスでなければならない。この定義から、伝わるプロセスというのは一種の収斂(convergence)であり発散(divergence)である。一方向のリニアなものではなく双方向のものである。[2]

とした。こちらの研究も 20 世紀後半になされたものである。

このように、イノベーションはいろいろな角度から幅広く捉えられている。

## (2) わが国への導入

日本にこの概念が導入されたのは 1956 年(昭和 31 年)の「経済白書」が最初とされている。経済白書は当時、経済企画庁によって執筆されていたもので、「技術革新と世界景気」という項の下次の記述がある。なおこの年はわが国で科学技術庁が設置された年にあたる。

長くなるが引用する。

『戦争直後に比べれば鈍ったにせよ、最近の世界の工業国の経済成長率は戦前に比して一般に高まったように見える。戦前の米国の成長率は平均 3%弱といわれていたのに 1955 年の米国の実質国民所得は 6%も増大した。ヨーロッパ諸国の成長率も戦前は 1~2%であったのに、この 2~3 年は 5~6%のテンポを示している。ヨーロッパの景気上昇は既に 2 年半の継続を誇り、アメリカの景気も 1 年半維持されている。しかもこの景気長期化は朝鮮動乱直後の再軍備のような経済外の要因によって支えられているのではない。何故にこのように世界景気が長期化を続け、成長率が戦前に比して高まったであろうか。一つには経済政策の高度化のお陰であろう。不況に際しては減税、失業保険などのいわゆる自動安定装置(ビルト・イン・スタビライザー)によってこれに対処し、インフレには機動的に財政金融政策を動員して、その昂進を未然に防ぐ政策技術は、戦前に比して確かに一段と進歩を示した。しかし世界景気の堅実な力強い発展の陰に潜む基礎的な動因は、大衆購買力の増加による耐久消費財の売れ行き増加と技術革新のための新投資の増大であろう。

このような大衆所得の増大は、生産性の上昇によって裏付けされており、極端なインフレや国際収支の悪化を伴うことなく、国内市場との均衡的發展を可能にした。前に我が国国内市場の発展の理想型として述べた高能率、高賃金、高生活水準の方式は、既に欧米経済の繁栄の基礎的条件になっているのである。

しかし労働生産性を上げるということは単に勤労者が勤労意欲を振いおこすということではない。近代工業における生産性の上昇には設備の近代化、技術投資が先行しなければならない。そして年々巨額な投資を推進しているものは、技術の絶えざる進歩とそれを媒介にした企業の競争である。技術が絶えず進歩しているときに、生産設備を物理的に使用に耐えるまで耐久年限いっぱいに使っているようなことでは、競争会社に圧倒されてしまう。耐久年限の短縮と取り替え需要は投資財市場を拡大する。1956 年の米国の産業設備投資は対前年 2~3 割の増加が予想されているが、その半ばまでは近代化の投資である。長期にわたる近代化投資を予想されている業種のなかに、目先き売れ行き不振で滞貨に悩む自動車産業が含まれていることは、近代化投資需要が目前の好不況の波を超越した強い力をもっていることを示すであろう。

このような投資活動の原動力となる技術の進歩とは原子力の平和的利用とオートメーションによって代表される技術革新(イノベーション)である。技術の革新によって景気の長期的上昇の趨勢がもたらされるということは、既に歴史的な先例がある。その第 1 回は、蒸気機関の発明による第 1 次産業革命後の情勢であって、1788 年から 1815 年まで長期的に世界景気の上昇が続いた。第 2 回目は、鉄道の普及によって 1843 年から 1873 年まで、第 3 回目は、電気、化学、自動車、航空機等の出現に伴って 1897 年から 1920 年まで、革新ブームが現出した。そして現代の世界を原子力とオートメーションによって代表される第 4 回の革新ブームの時期とみることもできるであろう。』

ただし、この「経済白書」で「イノベーション」が「技術革新」と邦訳されたことには異論が見られる。イノベーションの意味するところが、日本においては一方向で大略的になった感がある。上記(1)の通りもっと幅広い概念が含まれていた筈である。

Wikipediaでは、「イノベーションとは、新しい技術の発明だけではなく、新しいアイデアから社会的意義のある新たな価値を創造し、社会的に大きな変化をもたらす自発的な人・組織・社会の幅広い変革である。つまり、それまでのモノ、仕組みなどに対して、全く新しい技術や考え方を取り入れて新たな価値を生み出し、社会的に大きな変化を起こすことを指す。」と定義されている。Wikipediaの説明は、シュムペーター等の意味する所を比較的正確に表現していると考えられる。

### (3) 概念別にみたイノベーション

ここでは、今日までのイノベーションに関する調査・研究を整理し、種々の「イノベーション」への考え方を相対すると思われる概念別に配列し、そのイノベーションの意味する所を概略考察する。

#### ア. プロダクト・イノベーションとプロセス・イノベーション

技術経営論[11]では、「技術革新は製品イノベーションと製造工程イノベーションに区分され、プロダクト・イノベーションにより自社の独自の新製品が誕生する。そして成長期には、その製品を大量生産するプロセス・イノベーションにより成長する。」としている。

学界では、1960～70年代にプロセス・イノベーションとプロダクト・イノベーションに関し種々の研究がなされた。当時は、プラント・設備類の大型化が進展した時代で、新しい製品やサービスということもあるが、投資を適切着実にやり、いかに生産プロセスを間違いなく運転させるか、適正に制御するか、というような点に目が向けられた。そのような時代を反映して研究面でも脚光を浴びたと思われる。

例えば、James M Utterback (Massachusetts Institute of Technology Center for Policy Alternatives, 1959-)、William J Abernathy (Harvard University Graduate School of Business Administration, 1933-1983)の1974～1975年のペーパー「プロセスおよびプロダクト・イノベーションのダイナミック・モデル(A Dynamic Model of Process and Product Innovation)」で図1-1のような図を用いてプロダクト・イノベーションとプロセス・イノベーションのサイクルを論じている[3]。

すなわち、開発のステージで見ると、先ずプロダクト・イノベーションが起り引き続いてプロセス・イノベーションが起こっていく。プロダクト・イノベーションの初期においては、一般にプロセスは未成熟であり、プロセスの技術面が重視される。後期から末期になるとプロセスは成熟し、組織化されていき、パフォーマンスよりもコストが重視されるようになる、という考え方が図示されている。

一方で、プロダクト・イノベーションに対してサービス・イノベーションという用語も用いられる。これは、経済対価を生む内容が「もの」であるか「サービス」であるかにより分けられている。プロダクト・イノ

バージョンを製品イノベーションととらえたが、これに対して、サービス・イノベーションは、サービス事業を提供するため、あるいは提供しているサービスの内容を高度化するために革新的な取り組みをすること、あるいはその取り組みによって新たに生まれたサービスと定義される。また、製造業においても近年はサービスにより新たなあるいはより大きな付加価値が提供されるようになった。例えば、コンサルティングやカスタマイズ等によるアジャストメント拡大、アウトソーシングや業務代行等におけるコミットメント拡大、ワンストップソリューション等で便利性を追求するテリトリーの拡大、といったところに具体的な実例を見ることができる。このような動きは製造業の付加価値を高めようとするもので、インクリメンタルなものとも考えることもできようが一つの最近の動向である[27]。

### イノベーションと開発のステージ

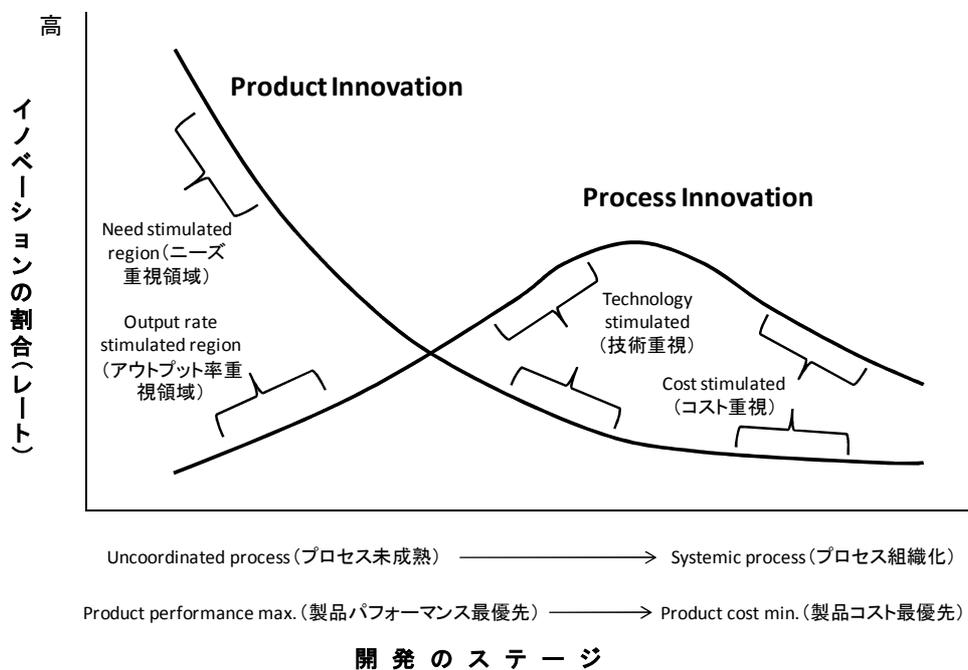


図 1-1 プロダクト・イノベーションとプロセス・イノベーション

(出所:Utterback & Abernathy)

近年、IT(情報技術)技術ならびに IT 関連産業の成長・発展によって、IT を活用することが容易になり新たなサービス、従来想定ができなかったビジネスが登場してきた。シェアリングビジネスなどはその一例で、従来のプロダクト・イノベーションに付帯するものというよりは、まさしくディストラプティブ(disruptive)な価値をもたらすイノベーションといえるであろう。

## イ. インクリメンタル・イノベーション vs. ラディカル・イノベーション

「インクリメンタル・イノベーション」は、既存の技術を積み重ね改良を主とするタイプのイノベーションで、「ラディカル・イノベーション」は、技術(シーズ)と市場(ニーズ)の革新が同時に行われるような大きな変化をもたらすイノベーションと考えられている。[11]では、プロダクト・イノベーションを技術の革新性の大きさ(横軸)と製品・サービスの付加価値の大きさ(縦軸)の2次元で表現し、技術の革新性が低く、付加価値も低い領域をインクリメンタル・イノベーション、両者ともに高いところをラディカル・イノベーションと分類している。

これは、英語で“Incremental innovation”と“Radical innovation”となる。[29]で、Incremental innovation は、「既存技術を活用する(exploits existing technology)、不確実性の低い(low uncertainty)イノベーションで、既存のプロセスや、プロダクト、あるいはサービスに関するコストや特性を改良することにフォーカスして(focuses on cost and feature improvements in existing processes, products or services)、現状市場または現状産業内で競争力を改善するもの(improves competitiveness within current markets or industries)。」としている。

一方、Radical innovation は、「新技術を探求する(explore new technology)、不確実性の高い(high uncertainty)イノベーションで、新規な特性を有するプロダクトやプロセスあるいはサービスにフォーカスして(focuses on products, processes or services with unprecedented performance features)、既存市場あるいは既存産業を一変させる劇的な変化を創造するイノベーションあるいは新しい市場や産業を創造するイノベーションである(creates a dramatic change that transforms existing markets or industries, or create new ones。)[29]としている。

これに類する分類として、“Discontinuous innovation” vs. “Continuous innovation”という対比がある。不連続なイノベーションと連続的なイノベーションということで、前者は製品や市場がガラッと変わり世の中にパラダイムシフトをもたらすもの、後者はそれらに漸進的な変化をもたらすもの、とされている。前者は、“Radical innovation”や“Disruptive innovation”とおおむね同義と考えられる。例えば、写真の方式でアナログ銀塩式の中で高感度のフィルムが開発されていくことは連続的なイノベーションであると考えられる。一方、アナログ式からデジタル式に変わっていくことはフィルム自体がなくなり現像等の底辺産業も激変するし、カメラの製造方法や部品も革新される、ユーザーの利用方法にも大きな変化をもたらされるので前者の不連続型イノベーションに該当すると思われる。

ミラー(William L. Miller, 元ロックウェル社、スティールケース社、現 Innovation Extension Center LLC の CEO)やモリス(Langdon Morris, InnovationLabs のコンサルタント)等は、“discontinuous innovation”, “continuous innovation”を次のように定義している。

“Discontinuous innovation”は、既存市場の標準仕様を塗り替えるものであり、“Continuous

innovation”は、既存市場の標準仕様に準拠するものである。そして“Continuous innovation”は“Incremental innovation”でもある[10]。

破壊的イノベーション(Disruptive innovation)と持続的イノベーション(Sustainable innovation)という表現も用いられている。クリステンセン(Clayton M. Christensen, Harvard Business School, 1979年にMBA取得)やアッターバック(James M. Utterback, MIT)は“disruptive innovation”を“disruptive technology”にもとづくイノベーションとして捉える。“disruptive technology”は、通常出現した際はコストは低いが、伝統的な基準によって計られる特性も低い、しかしながら高度な補完的特性を有している技術であって、既存ユーザーの多くは満足を見出さないが一部(概して新しいユーザー)は価値を認める、という状況が初期においては見られる。しかし、技術開発の進歩は速く急速にパフォーマンスやコストで追い抜き、在来技術はあっという間に衰退していく。このような技術によって起こるイノベーションとしている[8][24]。

一方、“Sustainable innovation”については、“Disruptive innovation”との対比でいえば、既に市場で確立した製品やサービスについてシェアを確保・拡大し、競合企業に負けないよう継続的に技術開発を進め市場満足度を維持し高めること、というような定義と考えられる。前記の“Incremental innovation”に近い。

サステナブル・イノベーションについては一方で、持続可能性ある社会(Sustainable society)を目指すイノベーション、例えば循環型、資源節約、環境対応型の技術開発、としての使われ方もある。マックスウェル(Dorothy Maxwell, Imperial College London, United Kingdom)やシートウ(William Sheate, 同)等が“Sustainable innovation”を環境や社会や経済的視点から、既存の伝統的システムにチャレンジして利益を生じさせるイノベーション[15]として捉えている。

#### ウ. Know-why とモジュラー・イノベーション vs. Know-how とアーキテクチャル・イノベーション vs. Know-what と製品コンセプトのイノベーション

イノベーションの受け手である顧客にとっての価値の変化に着目してイノベーションを分類したものである[12]。以下3項はその解説である。

##### ・Know-why とモジュラー・イノベーション

Know-why とは、特定少数の変数で定式化された因果関係についての知識の体系であり、ある構成要素がどのように動作し、どのような結果をもたらすかという原理に関する知識である。従って、この知識に基づくイノベーションは、製品システムの構成要素にかかわるものが多く、モジュラー・イノベーションとして実を結ぶとしている。

##### ・Know-how とアーキテクチャル・イノベーション

構成要素単位の知識を系統的に統合する知識が know-how と位置付けられる。従って構成要

素の組み合わせやつながり方を変えることによって生み出されるイノベーションである。これをアーキテクチャル・イノベーションと呼ぶ。

・Know-what と製品コンセプトのイノベーション

Know-what はユーザーにとっての価値やニーズの観点から、製品システムをどのような形態にすればよいかということに関する知識である。この know-what は組織に保有されているもので、これを濃縮したものが製品コンセプトとして実現される。新しい know-what が生まれる所に製品コンセプトのイノベーションが起こると考えられる。

エ. 認識論から捉えたイノベーション

Paul Nightingale (英国 Sussex 大学) の唱えた経験知に基づいた認識モデル (cognitive model) である。科学的知識で最終結果を得る方法として、期待される最終結果と類似の最終結果を探し、その最終結果を得た初期条件から、不明瞭な初期条件を推測して、期待される最終結果を得るという方法で、モデルの概略は図 1-2 で表現される [9, 1998 年]。

このモデルは、科学からの延長 (science push) か市場からのニーズ主導 (demand pull) かという議論、そしてイノベーションのプロセスとしては後者がしだいに有力とみなされるようになってきた、という研究の流れから派生しているようである。P. Nightingale はもともと化学の研究者で、その後英国の科学技術政策に従事し、イノベーションという視点で見た場合の政策に疑問を呈し、このような理論を提起したといわれている。この英 Sussex 大学での研究は、1980 年代 G. Dosi が提唱した "Technological paradigm" (技術パラダイム) と "Technological Trajectory" (技術軌道) という概念提起、イノベーションは技術パラダイムの変化を生む、との考え方の流れを汲むものである

オ. クローズド・イノベーション vs. オープン・イノベーション

チェスブロー (Henry Chesbrough, Harvard Business School, 1956-) が、21 世紀のイノベーションを 2 つの相対するモデルで論述したイノベーション分類である。

クローズド・イノベーションは、NIH (Not Invented Here) などとも言われる自前主義といってもよいイノベーションの方法で、アイデア創発から開発・製造・マーケティング・ファイナンスまで他人 (他企業) の協力を活用しないで基本的に自分で行うイノベーションである。これに対し、オープンイノベーションは、上述のアイデア創発からファイナンスまで、積極的に外部 (他社) のリソースを活用して、すなわち、内部の資源 (資産) と外部の資源 (資産) とを有機的に結合させ、新たな価値を創造しようというイノベーションである [20]。

例えば、消費財の P&G (プロクター & ギャンブル) 社は 2000 年代初頭、クローズドからオープンの方式への切り替えを取り入れ、社外から必要な技術を発掘し一方自社技術の外販も行い、研究開発

費用を増やすことなく新製品開発を拡大することに成功した。現在でも同社研究開発戦略の重要な一端を占めている。

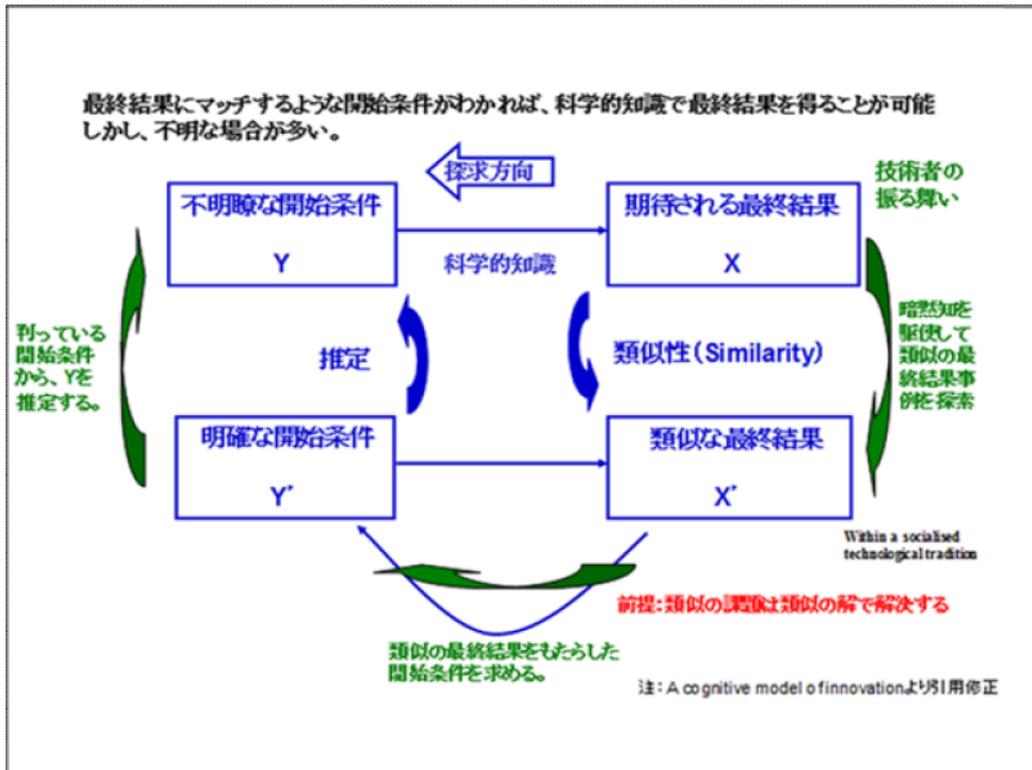


図 1-2 認識モデルの概略

#### カ. Exploitative innovation vs. Exploratory innovation

Wendy K. Smith (University of Delaware)、Michael L. Tushman (Harvard Business School)等が言い出したイノベーションの分類である(図 1-3 参照)。

Exploitative innovation (援用型のイノベーション)は既存技術を活用し改良した、既存市場・顧客をターゲットにしたイノベーションで、Exploratory innovation (探求型のイノベーション)は、技術的に革新的な技術へ挑戦するもので市場としては既存顧客から新規顧客までをターゲットにしたイノベーション、と定義した。既存の顧客をターゲットとしてのイノベーションであるが、マーケットが自然と出来上がり新規市場につながる場合も含めている[26]。例として、タイヤメーカーのグッドイヤーが伝統型のベルト・バイアス・プライ・タイヤの改良に取り組みつつラジアル・タイヤという革新型製品開発への取り組みを進めた事例(1960年代末から)、CIBA社 Vision (眼視事業部)のコンタクト開発の取り組み、を示した。ラジアル・タイヤの場合は既存の市場に向けての非連続型技術開発といえる。CIBA Vision事業部は、従来のハード・レンズの改良と、エクステンデッド型、ディスポーサブル型、Visudyne、の3種類の革新型製品の開発に取り組み、前2製品は従来型市場で成功し、最後のVisudyneは眼科医ルートという新市場の開拓につながった、と説明している。

## イノベーション・マップ

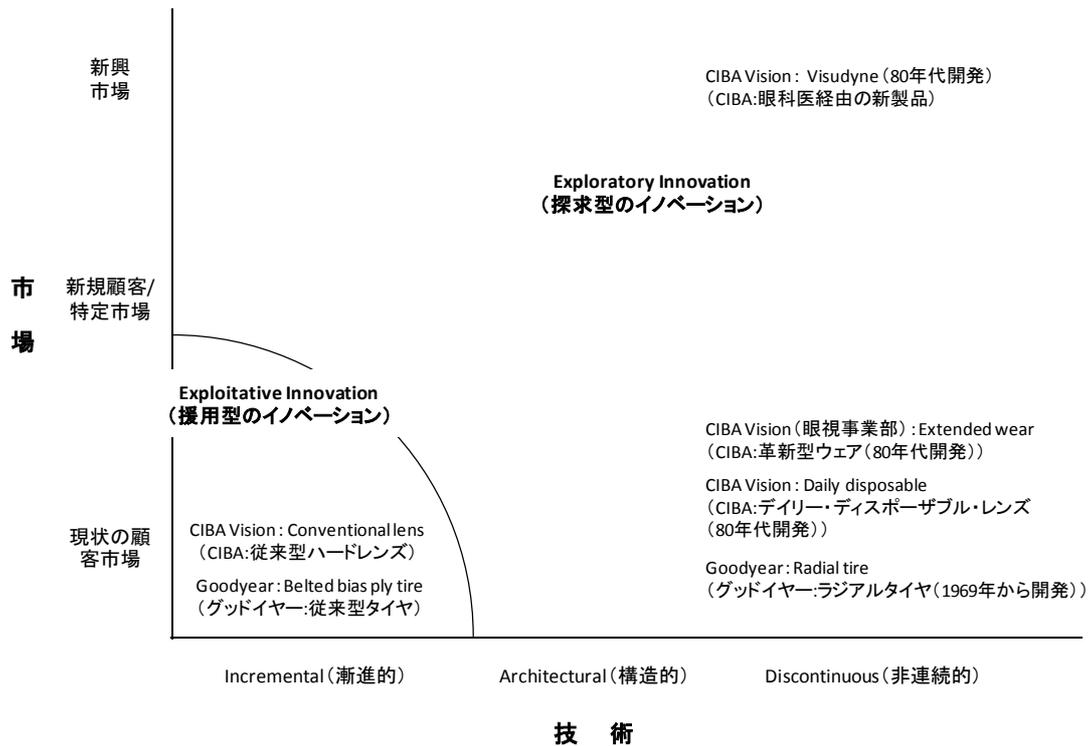


図 1-3 イノベーション マップ(出所:文献[26])

### (4) イノベーションに関し重要な知見

前章のイノベーションに関する諸研究の中から、今日影響が大きく重要と思われる理論を以下で見  
てみることにする。

#### ア. 初の理論化(J. A. シュムペーター)

オーストリアの経済学者ヨーゼフ・A・シュムペーター(Joseph A. Schumpeter, 1883-1950)はそれ以  
前の、A. スミス(1723-1790、「国富論」)、A. マーシャル(1842-1924、「経済学原理」)、L. ワルラス  
(1834-1910、「一般均衡論」)、フォン・ヴィーザー(1851-1926、「価格形成論」)、J. S. ミル  
(1806-1873、「功利主義」)、A. ハーン(1889-1968、「銀行信用論」)、フォン・ベーム-バヴェルク  
(1851-1914、「利子論」)らの経済学研究を発展させ、特に経済(景気)の循環や成長に関する理論を  
形成した。資本主義の活力の源泉を「創造的破壊」(creative destruction)に求め、この活力が失われ  
れば官僚化した大企業が社会を支配し、資本主義社会は衰退に陥り社会主義へ移行する、と主張し  
た。イノベーションを経済学として取り上げた世界初の研究であったと考えられる。

シュムペーターのバックグラウンドは学界にあったようだが、父が工場を経営していた(ただし、シュ  
ムペーター4歳時に死去)ので実践サイドからの影響はあったかも知れない。後年政府で政策や銀行

の経営にもタッチしているが、それらは下記イノベーションの理論を著した後の事である。

その著、「経済発展の理論 (Theorie der Wirtschaftlichen Entwicklung, 1912)」の中で経済成長(発展)のために、「新結合の遂行 (Durchsetzung neuer Kombinationen)」という表現で次のような生産上の変革が要因である、とした。〔1〕

『生産をすると言うことは、われわれの利用しうるいろいろな物や力を結合することである。生産物および生産方法の変更とは、これらの物や力の結合を変更することである。(略)かくして、われわれの意味する経済発展の形態と内容は、「新結合の遂行 (Durchsetzung neuer Kombinationen)」によって定義づけられる。

#### 5つのケース

この概念は次の5つのケースを含んでいる。

1. 新しい製品: 消費者の間でまだ知られていない製品、あるいは新しい品質の製品の生産。
2. 新しい生産方法: 当該産業部門において實際上未知な生産方法の導入。科学的に新しい発見に基づく必要はない。また、商品の取扱いに関する新しい方法を含む。
3. 新しい販路: 当該国の当該産業部門が従来参加していなかった市場の開拓。この市場が既存のものであるかどうかは問わない。
4. 原料・半製品の新しい供給源: この場合においても、この供給源が既存のものであるか—単に見過ごされていたのか、その獲得が不可能とみなされていたのかを問わず—あるいは初めてつくり出さねばならないかは問わない。
5. 新しい組織: 独占的地位の形成(例えばトラスト化)あるいは独占の打破など。

このような「新結合の遂行」にあたっては、2事項が重要である。

第1は、「新結合の遂行」の担い手は、旧いプロセスを担っていた者と同一である場合もあるが、むしろ新結合を具現する企業や工場はとって代わるより、並んで現れることが多い。旧いものは自分自身のなかから大躍進を行う力を持たないからである。鉄道を建設したものは駅馬車を運営したものではなかった。新結合には不連続性が伴う。

第2が、「新結合の遂行」には原則として利用されていない生産手段を結合して進むことはない。例えば、失業者の存在といったことが新結合を引き起こすことはなく、新結合は必要とする手段を旧結合から奪い取ってこなければならない。新結合の遂行は国民経済における生産手段ストックの転用を意味する。』

(「経済発展の理論」、塩野谷祐一他訳、岩波文庫より抄録)

なお、シュムペーターは後年この「新結合の遂行」に相当する事象を「イノベーション」とよび、それを実行することを「アントレプレナーシップ」とよんだ(“Capitalism, Socialism and Democracy”, 1942)こ

とから、今日上記 5 項目を含めて「イノベーション」という言葉が一般化している。

#### イ. イノベーターのジレンマ(C. M. クリステンセン)

「破壊的イノベーション」ということは前記のシュムペーターも使っているが、事例分析を通じて理論化した学者にハーバード大学ビジネススクール教授のクレイトン・クリステンセン (Clayton M. Christensen, 1952 年-) がいる。

クリステンセンはその著“The Innovator’s Dilemma”(1997)の中で以下のように述べた。[8]

1. 優良企業は、顧客のニーズに応じて従来製品の改良を進め、ニーズのないアイデアを切り捨てる。イノベーションには、従来製品の改良を進める「持続的イノベーション」と、従来製品の価値を破壊するかもしれないが新しい価値を生み出す「破壊的イノベーション」がある。優良企業は、持続的イノベーションのプロセスで自社の事業を成り立たせているため、破壊的イノベーションを軽視する。
2. 優良企業の持続的イノベーションの成果は、ある段階で顧客のニーズとミスマッチするようになり、一方で破壊的イノベーションによる新製品の性能は急速に向上する。以降、顧客は、そうした成果以外の側面に目を向け始め、破壊的イノベーションの存在が無視できない力を持つようになる。
3. 他社の破壊的イノベーションの価値が市場で広く認められる。その結果、優良企業の提供してきた従来製品の価値は毀損してしまい、優良企業は自社の地位を失ってしまう。

実例としてハードディスク産業を取り上げ(図 1-4)、この論拠とした。1970 年代後半から 80 年代、14 インチディスクが主流の時代、8 インチ・ドライブが登場した時 14 インチのメーカーはほとんど関心を示さず、3分の2は参入せず、参入したメーカーも2年ほど遅れてであった。それは、技術的な理由からではなく技術開発力はあった。にもかかわらず、参入しなかった理由は経営意思決定の遅れで、多くのメーカーは既存顧客の声に忠実であろうとし顧客要望に応えることを優先したためである。

80 年代になって 5.25 インチ・ドライブが登場した時も同じ現象が起こった。最初に生産したのは新規参入企業であり、8 インチ時代 4 大メーカーとされた企業ほか有力メーカーはそのほとんどが淘汰された。5.25 インチディスクは当初、デスクトップ・コンピュータというマイナーな市場向けから始まり、次に従来のミニコン、メインフレーム市場での採用が進んでいった。

5.25 インチから 3.5 インチへのシフトの時も歴史は繰り返されている。初期の 3.5 インチは、ポータブル・パソコン、ラップトップ・パソコン、小型デスクトップ・コンピュータという当時の新市場で採用されるようになった。5.25 インチの大手シーゲートは 3.5 インチの出現を知らなかったわけではなく、技術陣は試作を行っていた。事業化に反対したのはマーケティング部門と経営陣であった。シーゲートの営業は、3.5 インチの試作品を主要顧客であったデスクトップ・コンピュータのメーカーや VAR(販売業者)に見せたところ、ほとんど関心を示さなかった。ユーザーは大容量の HDD を求め、当時の 3.5 インチは容量で及ばなかった。そこで、シーゲートの経営陣は開発の中止を決定したのであった。同様

の現象はその後、2.5 インチ、1.8 インチ、フラッシュの登場の際、大なり小なり発生している。

顧客や市場の要望に忠実な優良経営がイノベーションの波に乗り遅れやすい事例として示しているものである[8]。

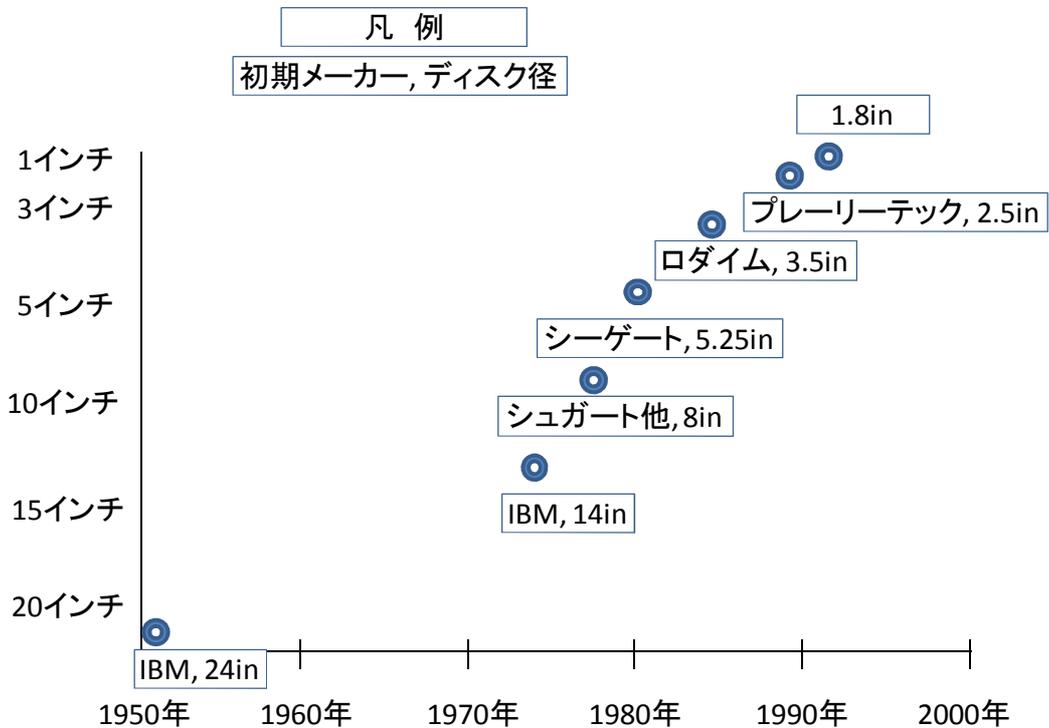


図 1-4 ハードディスク(HDD)の技術進歩の状況

(C.Christensen "The Innovator's Dilemma"の文記述をもとに JATES 図示化)

#### ウ. オープンイノベーション(H. W. チェスブロー)

ヘンリー・チェスブロー教授(Henry William Chesbrough、1956-、ハーバード・ビジネススクール、UCBE ハース・ビジネス・スクール教授等を歴任)は、イノベーションを起こすには外部との開かれた環境が重要であるとし、「オープン・イノベーション」を提唱した。

著[20] ("Open Innovation: The New Imperative for Creating and Profiting from Technology", HBS Press, 2003.)の中ではまず事例分析が行われている。同じ通信産業で、ルーセント(Lucent)とシスコ(Cisco)の違い、IBM の変化、インテル(Intel)の研究開発戦略、ゼロックス(Xerox)パロアルト研究所(PARC)からのスピアウトなどの事例からそれまでの研究開発のやり方をクローズド・イノベーションとし、新しい取り組みをオープン・イノベーションとしてこれからの時代に適った戦略であるとしたのである。

同著の中で、

『19 世紀においては知識は大企業に独占されていた。こうした大企業は産業界をリードし、重要な発見をし続けた。しかし、現在こうした知識の独占は崩壊した。これは政府の独占禁止政策によるとこ

るもあったが、多くはベンチャー企業の出現と研究所の質向上によるものであった。知識は企業の研究所だけのものではなく、顧客、サプライヤー、大学、政府、産業コンソーシアム、ベンチャー企業により保有されるようになったのである。

企業は自らの持つアイデアを十分に活用できず、イノベーションのプロセスにも無駄が多い。ゆえに、企業内部での研究開発はスピードが遅く、効率性も低い。……アイデアを内部に抱え込もうとする企業も崩壊の危機に直面している。アイデアとそれを生み出す人々は、企業が商品化するまで待つてはくれない。

アイデアやテクノロジーの価値は、そのビジネスモデルに依存する。テクノロジー自体には固有の価値はない。テクノロジーの価値は、それを活用するビジネスモデルにより決定される。……テクノロジーが優れていても、ビジネスモデルが劣っていれば、低い価値しか生み出さないことがある。ビジネスモデルは、顧客が求めるものを見出し、必要なテクノロジーを探し求める。そして、どのようにすれば価値を生み出すことができるかを特定する。知的財産のマネジメントについても同様のことがいえる。』

と述べている。

#### エ. プラットフォーム論(A. ガウア、M. クスマノ他)

技術の構造が複雑化するに伴って、「プラットフォーム」という考え方が現れた。もともとは20世紀に自社製品やサービスを切れ目なく提供し、供給側の効率化やユーザー側での利便性を向上する「土台」としてプラットフォーム論が唱えられていた。

複数の技術が階層的に組み合わされてエンドユーザーに提供されるようになったことから、「ネットワーク効果」、「エコシステム」そして「プラットフォーム」という概念が出てきた。

M. クスマノ(1954-)は、「君臨する企業の6つの法則」(2010年、鬼澤忍訳)の中で、次のように主張している。[31]

『われわれは、技術の歴史において、プラットフォームをめぐる戦いやネットワーク効果をたくさん目にしてきた。それらが見られるのは、主として、互換性のない規格のせいで競争が起こる場合や、ある製品がそれだけでは限られた価値しか持たない場合である。規格はプラットフォームではない。異なる製品やモジュールをつなぎ、それらを一緒に使う方法を規定するルールやプロトコルだ。以下のような事例が、ある規格が組み込まれたプラットフォームの事例として有名だ。電報(暗号化と復号化など)、電話(送受信方式など)、電気(周波数、電圧など)、ラジオ(AM/FM方式など)、テレビ(方式)、磁気テープ記録方式(VHSとβ)、コンピュータのOS。

ハードウェアやソフトウェアのプラットフォームをめぐるその他の最近の戦いは、以下の分野で起こっている。インターネットのポータルサイト、検索、コンテンツ配信。オンライン市場。スマートフォンの

OS と通信技術。ビデオゲーム機とビデオ。電子決済システム。外国為替取引システム。電子証券取引システム。電子ディスプレイ技術。先進的バッテリー技術。代替的な自動車駆動システム。SNS サイトなど。ヒトの DNA データベースさえ、研究者や製薬会社にとってはデータや知識のプラットフォームとなっている。実際、現代社会とその技術的所産の内側をのぞけばのぞくほど、プラットフォームやプラットフォーム内部のプラットフォームが、直接・間接ネットワーク効果とともに目に入るはずである。

プラットフォームをめぐる競争やネットワーク効果は、非技術的な製品やサービスについても見られる。ウォールマートは世界規模のサプライチェーン・プラットフォームをつくり、自社の店舗に商品を供給している。世界最大の家電量販店であるベストバイは、エレクトロニクス商品と家電製品の小売で同じことをしている。サプライヤーは、特別な投資を行ってこうしたネットワークの一部となるため、他社に乗り換えるのは容易ではない。

(略)

A.ガウアと私は、製品と部品の技術が潜在的プラットフォームとなるためには、2つの条件を満たす必要があると結論づけた。

第1にその製品や技術は「システム」の一部として、少なくとも一つの必須機能を担っていなければならない。たとえば、家庭用ビデオレコーダのスキャニング機能や再生フォーマット、PCのOSやマイクロプロセッサなどがそうだ。その機能が必須であるのは、その産業にとってきわめて重大なシステム関連の問題—たとえばビデオ信号のエンコード法、PCやスマートフォンのオペレーションのコントロール法など—をその機能が解決する場合だ。

第2に、その製品や技術は、他社が自らの製品、部品、サービスを介して比較的容易に接続できなければならない。想定通り、あるいは想定外の活用に備え、プラットフォーム・システム全体の機能を改善・拡張するためだ。』

### 1.1.2 イノベーションの担い手に関する研究

イノベーションの担い手、つまりどのような要因でどのような人や組織がイノベーションを実現していくのか、どのようなプロセスをたどるのかということで、このような問題に関してもこれまでにさまざまな研究がなされている。

#### (1) これまでの研究例

戦後初期の頃は経済循環とイノベーションとがあわせて考察された研究が多かった。経済変動、景気変動については短期から長期のサイクルが何種類かあるという理論が経済学でなされていた。その長期のサイクル(コンドラティフ・サイクル、約50年の景気循環)がイノベーションに対応していると考える考え方があった。例えば、英サセックス大学のフリーマン教授(C. Freeman, 1921 -2010)は、シ

シュムペーター、クズネッツ(Simon S. Kuznets, 1901 - 1985)、G.メンシュ(G. Mensch, 1937-)などの研究に基づきながらも、サセックス大学での事例収集と実証研究によりそのサイクルに変化が起こっていることを明らかにした。メンシュ他は、不況期に技術開発が進みそれがある時期に開花し好況期を迎えるとして、1830年代、1880年代、1930年代がそのような技術蓄積期にあたるとしたが、フリーマンはサセックス大学での事例研究から必ずしも50年というサイクルでなくともイノベーションのサイクルが起こっていると説明した。それが、プロダクト・イノベーションとプロセス・イノベーション論ともなっている。[5]

イノベーションを最初に唱えたシュムペーターは、イノベーションの担い手については、次の2点を指摘している。(1)「新結合(イノベーション)の遂行者は、この新結合によって凌駕排除される古い慣行的結合の生産や流通を支配していた人々と同一人の場合もあり得るが、それは本質ではない。新結合を実現する企業や工場は古いものにとって代わるのではなく、並んで現れる。古いものは自分自身の中から新しい躍進を行う力を持たない。」とした。さらに、「(2) 新結合(イノベーション)のための必要な生産手段は、旧結合から奪い取ってこなければならない。利用されていない生産手段を結合してできるものではない。新結合の遂行は国民経済的に生産手段の転用を意味する。貯蓄や労働などの増加でできることではなく、転用によって可能となるものである。[1]」この表現からは、シュムペーターの「新結合」では破壊的なイノベーションが前提となっていて、プロセス・イノベーションとかインクリメンタルなイノベーションというものは念頭にはなかったと考えられるのである。

前カ項で援用型(Exploitative)と探求型(Exploratory)を紹介したが、マーチ教授(James G. March (1928 - , Stanford Univ.))は組織論的に両者並行の方法を論じている。組織の目標はパフォーマンスの向上と競争力の強化で、そのためには学習、分析、模倣、再生や再現、技術変化などを組織として推進する必要がある。援用型(Exploitative)と探求型(Exploratory)とはトレードオフの関係がある。このトレードオフはそれぞれへ配分されるコストとその対価、エコロジカルな相互連携で良い方向へ向けることが可能である。探求型のアプローチは新たな選択肢への実験で、対価は不確か、距離遠く、しばしばネガティブである。するとどうしても既知の選択肢による援用型に置き換われやすくなる。このようなアダプティブなプロセスには危険性が伴い、相互学習状況下で組織の学習力を悪化させる。「相互学習(mutual learning)」が組織と個人の考えの間の収斂(convergence)をもたらす。この収斂ということが重要で、既存技術活用と新規技術開発とを両者進めることが必要である[7, 1991]。

そして、Christensen (1997)は、「イノベーションのジレンマ」で、経済をリードする大企業においては、既存のコア・テクノロジーと既存のメイン顧客の声に固執するあまり、破壊的(Disruptive)イノベーションによる新規ビジネス創造は、起こりにくいと述べている[8]。優良企業ほど市場の要望に忠実であろうとする。表現は間接的ではあるが、大企業では持続的イノベーションのみが起こり、破壊的イノベ

ションは起こりにくいとする。

企業活動におけるイノベーションについては、米国の W. Miller (William L. Miller (Intel, Industrial Research Institute) および Langdon Morris (President of KMLab, Inc./author of Managing the Evolving Corporation and The Knowledge Channel)) が「第 4 世代の R&D」(1999) で「連続的イノベーション・マネジメント」(Continuous Innovation Management) の実践からは、「非連続的イノベーション・マネジメント」(Discontinuous Innovation Management) は学べないどころか有害であると述べている [10]。更には、同じペーパーの中で、異なった原理を融合させたり、新規創造するための知識体系を意識的に結合するフュージョン (Fusion)・イノベーションを提案していて、事例としてバイオ技術、ナノテク技術、メカトロニクス技術を上げている。第 4 世代の R&D のあり方を、R&D 組織を内包した組織で、サプライヤーや顧客までも組織的活動プロセス内にクロスファンクショナル要素として組み込んで、活動することを提案している [10]。

Chesbrough (2003) は先に紹介したように、従来型のイノベーション推進方式、即ち自前主義で研究開発するシステムをクローズド・イノベーションと捉え、企業外部のアイデアを始めとした研究開発に関する外部資源を活用するシステムをオープン・イノベーションとして、今後はこのイノベーション・システムが必要と論じている [20]。自前主義 (independent principles) と、研究開発の他社全面依存 (outsourcing) との間には様々なマネジメント・システムが存在し、また、知的財産権の問題、社内外テクノロジー評価の問題、大学との関係、ビジネスモデルなどを考えていかなければならないであろう、として戦略と戦術論についても論じている。同じ業界のベンチャー、ベンチャー・キャピタルへの調査や連携なども提案されている。

担い手という意味では、オープン・イノベーションによれば既成の大企業であってもイノベーションを起こし成長を遂げることができる、との考え方であろう。

W. Smith (2004) も、継続的に機能する組織は、技術・知識創造活動 (破壊的イノベーションに通じる) と既存技術・知識の活用 (持続的イノベーションに通じる) を同時に行っている、と述べている [22] もの、そのような活動は戦略的矛盾をはらんでいるのでトップマネジメントは十分な配慮が必要である、一般に通ずるマネジメント手法はないとしている。

Paap, Katz (2004) は、「二重化主義」(dualism) と称して、いくつかのケーススタディから、大企業といえども破壊的イノベーションと継続的イノベーションを両立させなければならないとしているが、筆者自身その必要性を言うのは簡単だが、実行は難しいとしている [23]。

また、Jeffrey T. Macher (Deloitte, IBM, Motorola を経て現 Professor, Economics and Public Policy in the McDonough School of Business at Georgetown University) は、2004 年の論文で継続的イノベーションと破壊的イノベーションの対比としてイノベーションを捉え、マネジメント的には独立で、相共存で

きないものとして論じている[21]。企業として破壊的イノベーションを起こすには、社内ベンチャー(internal venture)、ジョイント・ベンチャー(joint venture)、企業吸収(acquisition)の3通りの方法を説いていて、企業本体では無理としている。事例として、モトローラにおけるモバイルフォンの研究開発(既存の通信事業部門は開発を拒否、社内ベンチャーとして別組織で開発、1970~80年代)、IBMにおけるPC開発(社内では既に1981年にPCが試作されたが社内での事業化はうまくいかなかった、MS+IntelのOEM型として製品化)、コダックのデジタル化戦略(早く1998年には“Picture CD”というデジタル画像システムを市場投入し好評を得たが、既存販売ルーティンが妨げとなって発展しなかった)の事例を示した。

Utterback(MIT)(1978)は、イノベーションは小さな技術ベースの企業より起こり、大企業に採用されていく。そして大企業のイノベーションは、スケールと量において経済性が出るインクレメンタル(incremental)イノベーションが支配的となる。従って企業は市場性の見えない曖昧な状況でのイノベーションは考えないとしている[4]。このUtterbackは後年(2005)、Christensenの“The Innovator’s Dilemma”の内容の足りなさを指摘し、破壊的(Disruptive)イノベーション、コスト、パフォーマンスでの革新的な変革は、既存のマーケットで採用されその後拡大・拡張していく道筋があると捉えている[25]。即ち、クリステンセンが破壊的イノベーションを、市場の破壊・置き換えと捉えているのに対し、高機能低価格のイノベーションが、既存マーケットのもっとも需要の多い領域に導入され、それが大量マーケットになっていくシナリオの存在を主張していて、大企業にもその可能性があることを指摘した。その例として、1970年代のコンパクト・ディスク(ソニー、フィリップス他)、銀塩式からデジタル式写真、1970年代の光ファイバー(コーニング)、1950年代のキャブレターから燃料インジェクタへ(ベンディックス)などを示した。

[14]では、破壊的イノベーションについては、(1)起業家こそがイノベーションの担い手で、大企業ではイノベーションは起こらないとする説と、(2)大企業こそがイノベーションを先導するという2つの相矛盾する仮説を提唱している。そしてどちらの仮説が現実の企業活動に合致しているか多くの検証が繰り返されたが、決定的な結論は出ていないとしている[14]。

丹羽清氏(1946-、東京大学教授)は既存企業内でのイノベーションの起こし方を説いている。共通的に発生する課題はあるが、その脱出法、既存事業との共存の道を示し、大企業発イノベーションは可能であるとしている[32]。

## (2) 現場からのイノベーション論

以上のイノベーションに関する分析・理論は、その時点までの過去の事例に基づいて行われている。有意義なものではあるがそれが実際のイノベーション推進者、今右か左かの判断を迫られている人々にとって役立つか、と問われると疑問がないわけではない。また、破壊的イノベーションやオーブ

ン・イノベーションというような理論付けの試みは技術開発に従事している者に対する、というよりはマネジメントに携わる者に対して有意義なものであるのかも知れない。

第一線でイノベーションに従事する人々、というと研究開発に従事する人、生産ラインに従事する人、市場開拓に従事する人、所要資金調達を担当する人などということになる。特に、研究開発に従事する人はその中心となるわけだが、実際の声聞いてみよう(後章の事例の中から引用)。

佐川真人氏(ネオジム磁石の発明者):「まず次々とアイデアを出す。そして実験する。実験結果のデータを見て反省し、それを基に次のアイデア出しを行い、そして実験する。」「量産化のプロセスも重要。これは企業(メーカー)が組織的に遂行することになる。」「ターゲットを定め、それへ向けて課題解決のアイデアを多数出すことが大切だ。」

進藤昭男氏(PAN系炭素繊維の発明者):「実験をやっているとだいたい分かってくる。化学式とか現象の理論は後から付けただけ。」

藤野道格氏(ホンダビジネスジェット機の開発リーダー):「技術が複雑化し関わる技術者研究者が増えてくると常識とされる固定概念も多くなる。すると本質が見失われがちだ。技術の原点に帰ることが必要だ。すると非常識とされていた技術にも価値あるものが見出せる。」「研究者はなかなか顧客と接する機会が少ないが、視野を世界に広げエンドユーザーと接することには大きな意義がある。」

山下昌哉氏(電子コンパスの開発リーダー):「ひとつの事業創出には長期間が必要なので、長期間同じコンセプトで行動できる組織と人材が必要だ。」「発想のユニークさは見えないニーズを見出すことから生まれる。未来のニーズを見出すためには、イマジネーション(想像力)がポイント。」

前のお二方はどちらかというと単独で発明をされた方で、後のお二方は組織的にイノベーションを遂行された。なお、事例については、後第2~4章に収集されており、その中にヒントとなる意思決定のプロセスも一部含まれている。

### (3) 一考察

以下の章(第2章~第4章)で紹介するわが国におけるイノベーションの多くの事例から見ると、大企業の中で長期にわたって進められてきたケースと、ベンチャーにより起こされた革新事例の両方が見られている。その意味で、上記のような理論研究は多々あるものの、経験的にイノベーションの担い手、道筋はひとつではなく、多数があると言えるのではないだろうか。

大企業におけるイノベーションは長期間で大型投資を要するものに適する(【例】東レの炭素繊維複合材料、ホンダのビジネスジェット機)。というよりこのような長期の大型案件は、大企業でなくては実現は難しかったと思われる。一方で大企業ならではの問題点も少なくない。社内での手続きや説得に多大のコストが費やされていた、一步誤れば途中で打ち切りになった、との恐れも見られるところで

ある。また、大企業では人事部門など管理の体系に独自の文化があり、必ずしも研究開発側の論理が通ずるとは限らない、という心配がある。当然のことながら、その企業の業績に陰りが生ずれば事業化のために割ける投資を減らさざるを得ないことになる。

革新的な技術や製品はその企業が持っている既存市場を破壊することになるため、既成の自社内技術や営業部門とコンフリクトし、反対を受け頓挫する例も少なくない。このような場合に、社外に切り出して事業化を進めることでこのようなコンフリクトを避けようとする事例がある(「カーブアウト」といわれる。一例として、ソニーが、1990年代ゲーム機事業をソニー・コンピュータ・エンタテインメント(SCE)社へ移管して推進した事例が知られる。)

ベンチャー型では迅速な意思決定や行動が取り易いが、事業化に理解ある投資家と支える生産部門などが必須である。優れたアイデアがあっても日銭稼ぎに追われるとイノベーションへ向けた時間が取れなくなる、という心配がある。産業革命のきっかけとなった、J. ワットの蒸気機関もワットの技術に対して理解があった投資家が(複数)バックにいて、資金面と製造技術面からサポートを行ったことが成功の最大要因であった。研究開発のための資金が枯渇した時期は、J. ワットも生活のための仕事をせざるを得ず、その間は開発の仕事が停滞したということが記録に残されている。

## 1.2 ビジネスモデルとイノベーション

ビジネスモデルは基本的に、収益を得る仕組みであるのでひとつのイノベーションまたは1事業体があれば1ビジネスモデルがあるといえる。例えば、わが国には30万社以上のソフトウェア事業者がある。そのほとんどは、業務を受託して、ソフトウェアを開発し、納入し、対価を受け取るものでその意味では一つのビジネスモデルと言っても良いのだが、使われる技術・言語、サービスの範囲、与えられた仕様書での機能開発なのかターンキー型か、客先業種が異なることによるビジネス慣行の差、などからビジネスモデルが差を生むことになる。自由化が進んでいる電力供給事業でも、大型の発電所と大容量の送電網と末端までの配電網での電気を供給としてひとつの共通のビジネスモデルとみなすことができそうである。しかし、燃料構成の違い、ネットワークの運用方法も発電技術を反映して変わってくるので、決して同じビジネスモデルであるとは考えられない。

ビジネスモデルは切り口によって変わってくる。顧客関係から、サプライチェーンから、セキュリティ・マネジメントといった観点から、で変わってくる。長期的に見てビジネスモデルの要素として何を考えるべきかということであるが、数千年の歴史の中で不変のビジネス要素は、売るものを「つくる」ということ、つくったものやサービスを「売る」(収益を得る)ということ、そしてこれらの行動を「マネージ(管理)すること」の3つである。この3要素は14世紀イタリアのダティーニ(武器その他を扱った商人で、知人との間の手紙を多数残し当時の商業・取引に関する貴重な資料とされている。)も16世紀の英国やオランダの東インド会社でも現代のフェースブックでも変わらないと思われる。

この3つの要素が時代により、また扱われるモノ・サービスにより無限の形態をとっていき、ビジネスモデルが複雑であるかのように見えるのである。

### 1.2.1 骨格

以上の通り、ビジネスの骨格は「売る」「つくる」「マネージ(管理)する」の3アクティビティである。この事業の基本3アクティビティが変化、展開、推移していくことにより無数のビジネスモデルが生み出される。図1-5は基本的なビジネスモデルで、無数のバリエーションの一部を図1-6に示した。

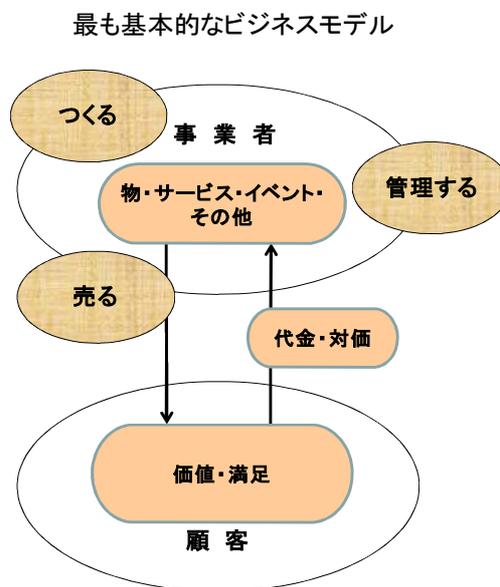
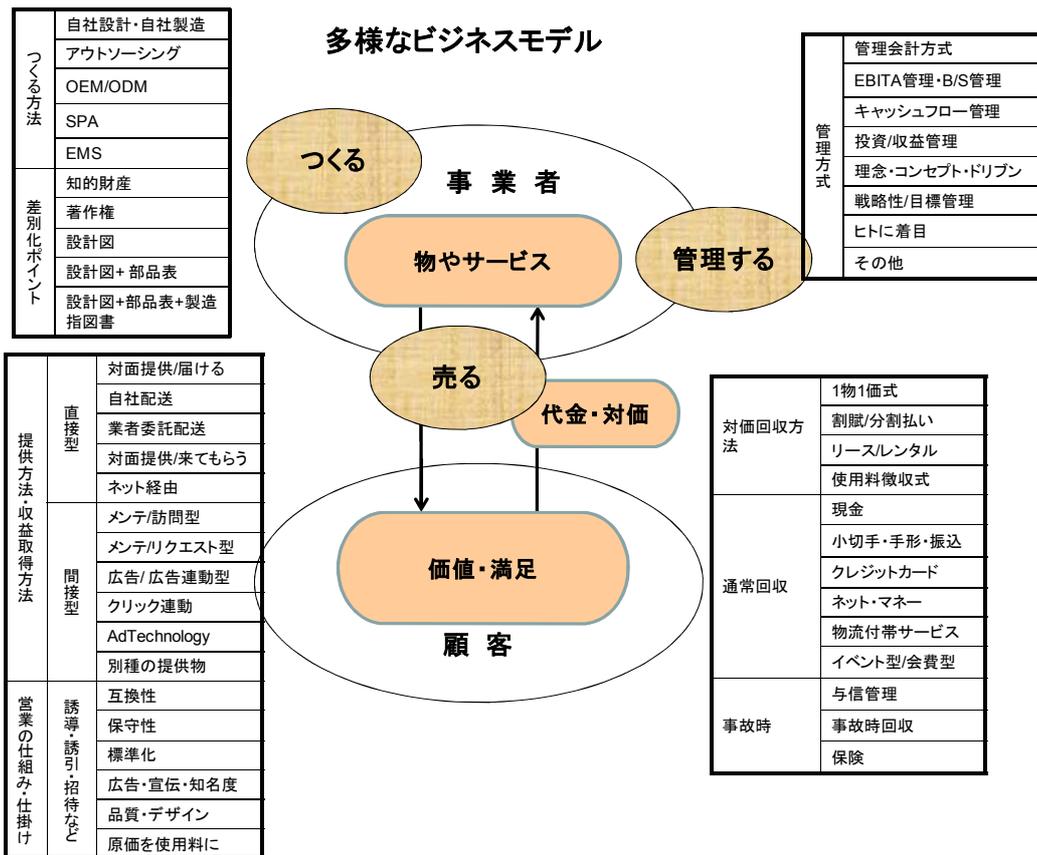


図 1-5 「売る」「つくる」「管理(マネージ)する」の基本モデル



(注)

OEM: Original Equipment Manufacturer (客先ブランドの製品を製造する形態)

ODM: Original Design Manufacturer (自主設計・自主製造で製品をつくるが客先ブランドで販売、もしくは客先が製造することを認めることもある形態)

SPA: Speciality-store/retailer of Private-label Apparel (糸・生地等素材の生産・手配から最終製品の販売までを一貫して行う形態)

EMS: Electronic Manufacturing Services (製造のアウトソーシングを受けられる形態、多くは仕様書は顧客から受け取り、部品調達は自らが行う)

図 1-6 ビジネスモデルの発展形

(1) 売る

先ず顧客が求める品物やサービスを「売る」ということである。「売る」ということは顧客が「買う」ということ、すなわち「価値」を認めるということである。「価値」を認めるので「対価」を支払うことにつながる。

したがって、「売る」前提は「価値」を提供することである。

通常「営業部門」が担当すると考えられがちであるが、「価値」を提供することができれば誰が売っても構わない。中には正当な対価支払いを行わない客がいる可能性があるため、この活動は単に注文を取るだけでなく、集金や与信管理等をも含む。逆に、提供するモノやサービスに瑕疵がある可能性もあるので、フォローやアフターサービスも重要な「売る」行為の一環である。

最近の変化は、顧客ニーズが複雑化してきたため、「提案型」が期待されていることと、収益を得る方法が多様化してきているということがある。

また、「売る」ものも、「もの」から「こと」へ、「製品」から「経験」へと変化してきている。以下、実例でその変化を見てみよう。

#### 【「価値」変化の例】

##### ・冷蔵庫

かつては、冷やす「機械」として考えられていた。これが、「保存する機械」へ、「鮮度やおいしさを保ちつつ保存する機械」へと変わってきた。現在、貯蔵する素材によって温度や湿度などを換え、いかに鮮度を保つかにメーカーはしのぎを削っているといえるだろう。さらに、プラスで省エネルギーという「こと」への期待も高まっている。

##### ・TV

「電波を受像」する装置、無線受像機から「美しい映像を見る」装置となって、色合いや表現力への関心が高い。さらに、「双方向通信やデータベースを参照しながら美しい映像を見る」機会を与えてくれる機能へと変化しつつある。プラス省エネルギー、調度品としての気品などへの関心も高い。

##### ・自転車

人を小動力で「運ぶ機械」から、「楽しみやスポーツ」の要素が高まり機能も高度化している。さらに、複数人による多目的な使い方とか身体の障害等を補う使い方とか多様化している。

##### ・洗濯機

「洗う機械」という感覚であったが、→脱よごれを経験する→清潔や健康を経験する→病気などを予防する、と変わってきている。

さらに進んで「使用」から「感動」するレベルを追求している事例もある。

##### ・体重計/体組成計

重さや体脂肪を計って数字を表示するのみであったが、→運動や食事の効果を見る→運動や食事の効果を知って感動する、ところまで利用者に与えられないか、工夫が進んでいる。

##### ・鉄道車両

「人を運送する」から→滞在環境を楽しみ、周囲の景色・風物を見て感動する、旅行を楽しんで感動できる乗物、と変化している。

また、貨物車についても、「物を運ぶ」という基本機能以上、→適切に保管し、生育させ、向上させつつ運搬する輸送装置、で利用者を感動させることができれば最高であるとして工夫されている。

・衣料からファッションへ

かつては寒暖や環境から身を保護することに主眼があった衣料であるが、既にファッション、美しさや周囲との調和、が主たる目的となっている。近年ではさらに新たな機能が付与され、時にはユーザーに感動を与える域になっている。例えば、身体機能の調節(発汗、保温、冷却など)、健康状態の把握(さまざまな計測機能を付与することによる)、身体機能の補完や向上(ロボット機能を付与し、筋力、バランス感覚などを補完、強化し場合によっては向上させる)。

他方、売るというプロセスが、「マス生産マス販売」から「マスカスタマイゼーション」へ、さらに「インディビジュアリゼーション」へと変化してきた。

【「価値」提供プロセス変化実例】

・PC

以前は、メーカーが仕様を決め 1 ロット 1 万台を製造し一斉販売した。これが、→多仕様 1 ロット少数で製造オーダー・販売→注文時仕様指定・1 品製造・1 品届け、も不可能ではなくなっている。

・衣料品

このジャンルでもメーカーがまとまった数量を製造・卸へ販売・卸から小売へという流れで、ロットを売り切ると販売終了という形が多かったが、→SPA モデル(糸の製造から末端小売までを一貫して事業とするモデル)で品質管理や在庫管理も自社で行う→単品(顧客毎に異なるデザイン、素材、装飾・色で注文を受ける)の受注・製造・販売モデル、も登場するに至っている。

・書籍/パッケージメディア

以前は 100%が店頭での販売であったが、→ネット販売・配送が普及し→購入履歴や友人推奨によるレコメンデーション型販売→受注 1 品製造納品という形態、も見られている(稀少書籍など)。

・ロジスティクス

物流サービスは以前は一様な包装物扱いであったが、品物によりサービス内容を合わせる、デリバリの時間指定ができるなど高度化してきた。しかし、まだ強度や形状が主体で「もの」中心である。これからは、機能のデリバリが求められるのではないだろうか。つまり、新鮮さやおいしさを届けてほしい、なくなって欲しい部分だけを届けてほしい、というようなニーズに応えるサービスである。

BtoB でもこのような価値の変化は起こっている。

・ジェットエンジン

動力を生み出す機械で、単位燃料当たりの効率の良い推力の提供ということが価値の基本であるが、近年では燃料効率を高める運航方式へ向けた情報サービスの提供、部品の劣化を予知し適当な時期での交換や保守などでトータルでのメンテナンスコスト効率化を提供するなどが考えられている。

・農業機械

こちらも機械で、パワー、ショベル機能、操作性、運転性能、価格、燃費などが提供価値の基本であったが、近年ではユーザー(農家)の経営に資する機能提供が考えられている。例えば、複合機能を持ち投資が効率化できる、作業の重複を排する(場所ごとに播種や散布などの履歴を保存し提供)、夜間等での作業を可能とする(稼働時間増で経営向上)、経営データが出力される等々の機能で、“Precision Agriculture”のインフラとなっていく。

・焼却炉

熱を効率よく発生し環境に配慮しつつ対象物を焼却する機械が基本提供価値である。近年では、稼働状態を監視し、異常を検知した場合直ちに通知、その原因を解明、機械に問題があれば問題箇所を指摘、必要な修理箇所・部品の提示等により、やはりトータル稼働率の向上とコストダウンを提供する方向へ価値が変わっている。

対価を回収する方法も多様化してきた。以前紙のメディア時にも見られないではなかったが、インターネットの普及によって、「つくったもの」からの収益から別形態(「広告」等)からの収益へシフト、してきたという流れがある。ポイント制も異業種にまたがり、シェア争いが行われるほどになった。

【「価値」回収プロセス変化例】

・検索ポータル

無料での情報提供と広告からの事業費収入からビジネスが成り立っている。

・EC(Electronic Commerce、e-commerce)

売買成立時の手数料または出店料・コンサルフィー収入といった収益から、→無料出店・広告収入に依存するビジネスモデルがある。

・Ad Technology

単なる広告枠でなく、ユーザーが実際に見たか、どのくらい滞在したか、購入したか、等で課金に変化するモデル、ユーザーの関心事から広告を選定する等ビジネスモデルが進化している。

インターネット時代に特徴的なビジネスモデルであるが、「オープン型」からの収益というものがある。

「オープン」にしてしまってもどこから収益を得るのだ、と言う疑問が出るが、以下のような例がある。

- OS Linux などオープン型ソフトウェア

ソフトウェアの場合その含む知識情報が膨大でユーザー単独では管理しきれないところがある。オープンにしてもベンダ側が提供するサービス価値部分が相当にあるといえる。無償でソフトウェアを提供するが、→メンテナンス/バージョンアップ課金制、定期メンテナンス料金収入を収益源としている (Red Hat, Android, PostgreSQL, 等)。

- 携帯電話等モバイル端末

こちらは一種の後払いで無償というものではない。正規価格販売+正規通信料収入が本来かもしれないが、現在電話機を正規価格販売されている例は極めて少なく、端末を廉価販売し、その分通信料への上乗せが行われている。

- 富山の薬販売

江戸時代から知られているが、今日でも、使った分を後から請求する、という有力なビジネスモデルになっている。

- オペレーティングリース

BtoB でも従来のファイナンスリース型に加えて、オペレーティングリース型が広まりつつある。こちらは、リース提供側に業務に関する知識が求められる。一律な金融事業の一種というより、事業者側と一体になったサービスといえよう。

## (2) つくる

「つくる」形態は「つくられる」モノやサービス毎に異なるので、すべてを記述することは不可能である。昔からの、Q(品質)C(コスト)D(納期)の重要性は今も変わらない。先ず、製品の場合を考えると、従来型の「つくる」は垂直統合で、自分で部品を集めて組み立て、検査し、販売する方式が主であった。

生産数量と大きさや重量は「つくる」形態と密な関係がある。大型で少量製造の場合はどうしても「もの」が置かれた場所を中心に部材や人が集まることとなる。軽量で生産数量が多いものであれば、流れ製造が普通で、そのラインに人が配され部材が集められる。セル生産方式はその間に位置し、これらを組み合わせたさまざまなつくるモデルが考えられる。

大型の装置・プラント類は大型少量製造であるが、納入後のユーザー側での工程管理やその装置のメンテナンスのやりかた等から最も稼働率を高め、ライフサイクルを通じての QCD が重視される。それらを含めた要素が競争力となる。ターンキー型のソフトウェアについてもこのことはあてはまる。

### 【例】

- (以前の)メインフレーム・コンピュータ、家電製品

部品の半導体、回路、筐体、ソフトウェアまで基本的に社内設計・製造・販売。

それに分業が採り入れられた。

#### 【例】

・PC

EMS や ODM(前出)を活用し、自社の得意分野に特化する。

・アウトソーシング

これも一種の分業といえるが、製造プロセスの一部を外部に委託するようなケースだけでなく、総務人事、経理、購買等に拡大している。

・自動車

ピラミッド型の系列会社で分業による生産。

・EMS の活用

以前にも出たが、設計や開発は行わず製造受託専門を指す。受託製品分野に共通的な製造技術、品質管理技術のあることが前提で、次第に製造力や設計力をつけ、上流や下流部分へ進出していく例も見られるようになった。

・オープン化の活用

製品をモジュールに分けそれぞれを内製または外製し、それらを組み合わせて最終製品とする。

・少量多品種への移行

1品1様形態での生産は、BtoBでは普通であるが、今後はBtoCへも普及していくものと思われる。その場合、納期短縮のためには少数多品種をこなす製造ラインが必要となる。素材から最終製品までの流れを自動化した大型のラインが想定される。

### (3) マネージする

ビジネスをマネージ(管理)する方法にはいくつか知られている。その方法にしたがって人々(従業員)は行動するし、投資の意思決定も行われる。つまり、マネージの原則が企業体であれば人々が働く価値観、価値の基盤を左右することになる。企業文化の基ともいえる。

イノベーションや事業企画が重要になってくると管理手法にも工夫が多々みられるようになった。

先ず伝統的な原価主義、管理会計という手法がある。部門ごとに、付加価値を算定し、原価を積み上げ、原価+共通販管費+利益で基本的な損益を計算し、その数字によってマネージしていこうとするものである。共通費の割り掛け、(収入に相当する)付加価値の計算方法が常に議論の的となる。特に、直接販売をしていない部門に対してどのような数字を割り振るかは問題となりがちである。

B/S、P/L、キャッシュフロー、あるいはEBITA(Earnings before interest, taxes and amortization)、こ

れらを部門単位でブレイクダウンし、管理目標とする管理手法がある。

コアコンピタンスによるマネジメントも考えられるところで、アウトソーシングや分業が経営の効率化やコストダウンに効果があることから進展してきたが、その場合に競争の源泉は何かを模索しそれを育成、強化していこうとする経営のモデルといえる。

事業の形態が、SPA のような川上から川下までに及ぶ場合、競合との関連でマネジメント手法が変わることも考えられる。衣料品の分野では、素材、繊維製品、デザイン、縫製、卸、小売等の間で分業体制がとられてきたが、SPA ではこれを一貫体制で生産と販売を行うので付加価値の配分は多分に経営戦略に依存する。新規企画取り入れ、消費者の声取り入れと競合製品の売価、在庫管理や廃棄のコスト負担等が迅速、円滑にできるようマネジメントの工夫がなされる。

R&D のマネジメントは相当異なると思われる。R&D はその間はコストだが、将来の事業を生む種でもある。単なるコスト(販売管理費)として管理することは適切ではないとも考えられる。そこで、種々の管理手法が考えられている。

【例 1】特許、論文等アウトプットでの評価による管理。

【例 2】R&D から生まれた新製品、新サービスの売上高等。

(新製品売上高ないし営業利益額) / 累積研究開発費用。

全社新製品売上高比率など。

【例 3】費用は一括(本社管理費中)計上し、別に進捗状況やステージゲート方式などでマネージする。

イノベーション重視型のマネジメント・システムも考えられるところである。R&D だけでなく全社的なイノベーションのための費用を用意し、売上高や利益率等でそれら进行评估する。例えば、営業費用の一部、製造技術や品質管理、購買部門費用の一部、企画部門費用の一部などがその対象として考えられる。

## 1.2.2 新たな発想

以上、「つくる」「売る」「マネージ(管理)する」の基本ビジネスモデルについて、近年いえることは、各要素に対して「イノベーティブさ」が求められるということである。かつて、大量生産大量販売の時代は、「営業は作られた製品をちゃんと売って、ちゃんと代金を回収すればよい。」、製造部門は「良い品質の製品を納期をきちんと守って作ればよい。」、管理部門は「迅速に経営データが出て、各部門へフィードバックすればよい。」などと考えられていた。

今日、ビジネスモデルの変化は激しく、全く新たな競合が参入して来る可能性も高くなっている。日常の業務をこなすだけでなく、常にイノベーティブに業務を見直していくことが必要となっている。その意味から、「つくる」「売る」「管理(マネージ)する」基本機能は維持されつつも、この基本機能を超越して全社

で収益を高める、シェアを高める、競争に勝つビジネスモデルを開発していくことが求められている。

今日それらは、次のような課題として例示できる。

#### [戦略的価格政策]

例えば、伝統型の「原価+利益による販売価格」の見直しというようなことで、競争に勝つためにどのような収益モデルが考えられるか、自由な発想で旧型のコストプラス利益方式を見直す。

#### [戦略的販売政策]

販売ルートは与件と考えられがちである。出来上がっている販売ルートへ新たなチャネルを作ることには社内でも抵抗が大きい。しかし、販売ルートへもイノベーションは必要である。伝統的な考え方からの脱却と両立可能性を探る。

#### [戦略的生産方式]

製造方法についても同様なことがいえる、従来方式を絶えず見直していくことが必要である。購入部材、その仕入れルートについても同様のことがいえる。一般に出来上がった業界の場合設計者が部材に対して固定的な考えを持っていることが少なくない。

#### [戦略的マネジメント]

経営方針例えば、「イノベーション推進」との観点から費用の管理方法を戦略的に考えることである。通常、研究開発費用は財務上は販売管理費中に含まれるが、別の方式で管理されることが多い。対売上高比で・・・%という数値管理やステージゲートというような方法が適用されることが多いと思われる。しかし、売上高比のような数値管理が適切かどうかよく見極める必要があるだろうし、伝統的な管理手法が今適切であるかは常に見直されなければならないだろう。

また、イノベティブな活動は、研究開発部門だけでなく、営業、工場、品質管理や購買部門にも必要である。それをどのように進め、どのように管理していくか、新しいマネジメントが求められる。

#### [ベンチマーク活用]

社内のみではどうしても伝統的に語り継がれていることが正しいと誰しも信じがちとなる。外の業務プラクティスとの比較が必要である。これは、研究開発部門に限ることなく、「つくる」「売る」「管理する」すべてに従事する者にとって必要なことであると思われる。

#### [企業理念]

事業活動をコンセプトドリブンで見直していく。

検索エンジン大手の Google のビジネスモデルは、「世界中の情報を整理して利用できるようにし、無料で提供する。」というコンセプトに根差している。ビジネスモデルをコンセプトに基づいて見直してみる、考え直してみるアプローチも大切であるとされている。コンセプトドリブン方式は訓練で高めることができるともされている。

## 【参考資料】

・ビジネスモデルに関しては文献も多いが本項は JATES 調査研究に拠っている。報告書「わが国の科学技術および産業強化に関する調査研究～技術のメガトレンドとビジネスモデルから将来の方向を探る」、2012年6月。

### 1.3 イノベーションの今日的課題

産業界にとってももちろん、政策的にも「イノベーション」が優先的に取り上げられている。企業経営学は古くからの学問であるが、最近技術経営という言葉が登場し、企業を取り巻く環境の中で技術の占める役割が大きくなってきたことが伺える。今日の経済環境から、イノベーションをめぐる課題を、以下、(1) 技術経営との関係、(2) 政策、(3) 手法～特にオープン・イノベーション、について考察する。

#### (1) 技術経営

「技術経営」は“Management of Technology(MOT)”の訳で、もともとは米国でビジネススクール(MBA(Master of Business Administration)のための課程)の一コースとして設けられたことが出発点のようである。経営において技術のウェイトが高まってきたことを反映したものと考えられる。

経営の中で「技術」というと、研究開発、製造技術、品質管理・品質保証、生産、アフターサービス、など多くの部門が関係するし、最近では営業、マーケティング、経理や管理部門においても重要になっている。例えば、ビッグデータを用いたマーケティング・ツール評価、種々の予測や人事管理などでの新技術活用などである。CIOもIT技術をベースとした役割が期待されている。

イノベーションが存続し続けるための企業の使命だとすれば、技術経営もイノベーション指向であらねばならないだろう。ただし、技術経営とイノベーションとは必ずしも一体ではないと思われる。イノベーションは市場の変化から起こる場合があり常にリニア型とは限らない。イノベーションが起こり得るよう、企業が持つ技術を選択、育成、充実させる、場合により廃棄、調達、保存する、こういったマネジメントのプロセスが技術経営ではないだろうか。

かつては、技術が競争力を100%近く左右した時代があった。産業革命以後、戦前から戦後まもなくの間は、技術を握ったものが市場を押さえることが多かった。例えば、内燃機関、製鋼、火薬、ペニシリン、合成繊維、トランジスタ、半導体など、いずれも技術開発に大きな課題があり、それを克服して成功した者が市場を享受した。その市場の大きさは必ずしも事前に分かっていたわけではなかったが、未だできていない技術に対するニーズは比較的顕在化していた。したがって、技術開発に成功すると比較的速やかに市場に浸透していった。そのためこのようなイノベーションのタイプについては、リニア型とかリニア・モデルといった言い方がなされ中心となっていた。

今日では、リニア型も依然として有力なイノベーションのアプローチであるが、技術の分野が多岐

に広がり、市場の要求も多様化してきていることから、必ずしもリニア型が唯一のイノベーション形態とは言えなくなった。既に存在する技術をいくつか組み合わせて、市場ニーズに応える、あるいは市場を掘り起こすことも有力なイノベーションのツールである。

また、技術単独で見ても、技術レベルが高くなり専門性が深くなってきた。1社で必要なすべての技術を用意することは難しくなってきた。そこで、自社のコア技術に外部の技術や販売力を加えてイノベーションを起こす、「オープン・イノベーション」の形態が今日の有力なイノベーション方法論となってきた。

その中で、社内でどのような技術を開発するか、技術を維持していくか、という意味決定は、企業のビジョン、既に企業が有している知識資産(その技術は開発可能か)、その技術の市場での将来性(その技術はどれだけ利益を生む事が出来るか)などに基づいて行われるものであろう。オープン・イノベーション指向とは言っても、社内にコアとなる技術や営業の資産がなければ競争に勝つことは難しくなる。また、技術開発に足りない知識資産を、外部からの購入や他者との共同開発によって補おうとした場合、外部からの知識の価値を判断し、吸収し、使いこなすためには、受け入れる側にそれなりの吸収能力(absorptive capacity)が必要である。新たな知識資産を蓄積するにしろ、外部からの技術を受け入れるにしろ、時間と費用がかかる。

外から見ると、人のリクルートであり、育成計画であったり、設備投資、企業の買収、事業部門の売却などリソースの変動のすべてに関わるものである。「研究開発テーマ」に関する意思決定は、中でも重要な事項であろうがそれだけではない。

これらをふまえて戦略を立て、実行していくことが「技術経営」といわれるものではないだろうか。

今をさかのぼる10年前2006年2月、米国のTexas Instrumentsはそれまで3つのセグメントからなる事業部門を持っていたが、その一つ、「センサ・制御」事業部門を投資会社Bainキャピタルに売却した。売却金額は30億ドルとされる。TI社はもともと石油掘削の計測事業からスタートした企業である。“Geophysical Service”という石油・ガス掘削の会社で、1930年ダラスで興された企業である。その後、地下探知、レーダー、などの技術が必要となることから電子製造部門を持つようになった。

その意味で、当時の3つの事業部門「半導体」「教育機器」「センサ・制御」の中で「センサ・制御」は創業の原点ともいえる事業部門であった。また、決して赤字のお荷物ではなく、営業利益率もコンスタントに20%台で高く、2001年度半導体部門が赤字であった際には、この事業部門により全社が赤字に陥らずにすみ、全TIを救ったともいえる。同じ頃、IBMがPC事業を中国のLenovoに売却しているが、こちらは明らかに赤字の事業部門で、MBA的な決断での売却であった。

TIの決断は、退路を絶ってこれから伸びる部門へリソースを集中させる、リスクを背負った技術経営型の発想ではないかと思われる。

表 1-2 Texas Instruments セグメント利益率

(2001-2004FY)

セグメント	単位: 百万ドル	2001	2002	2003	2004
半導体	売上高	6767	6934	8345	10938
	営業利益	-155	254	969	2050
	営業利益率	-2.3%	3.7%	11.6%	18.7%
	総資産営業利益率	-2.2%	4.1%	15.6%	31.7%
センサー&制御	売上高	955	954	1004	1124
	営業利益	192	214	251	281
	営業利益率	20.1%	22.4%	25.0%	25.0%
	総資産営業利益率	46.3%	55.9%	67.5%	68.0%
教育機器	売上高	465	494	485	518
	営業利益	132	154	157	176
	営業利益率	28.4%	31.2%	32.4%	34.0%
	総資産営業利益率	140.4%	160.4%	161.9%	192.4%

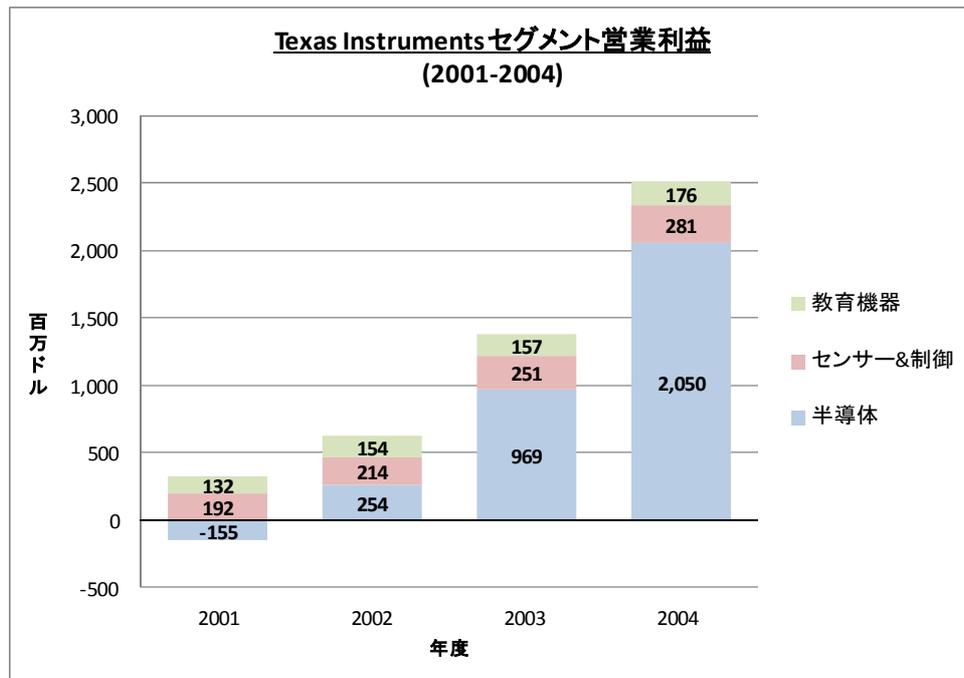


図 1-7 TI 社セグメント別営業利益(2001-2004)

(2) 政策

政策においても停滞しているわが国経済活性化のために、イノベーションに期待が集まっている。2016年1月の国会での安倍首相所信表明演説中でも、「イノベーションによって新しい付加価値を生み出し、持続的な成長を確保する。「より安く」ではなく、「より良い」に挑戦する、イノベーション型の経済成長へと転換しなければなりません。模倣、過酷な労働、環境への負荷。安かろう悪かろうは、世界のマーケットから一掃すべきであります。21世紀にふさわしい経済ルールを世界へと広げる、大いな

る「挑戦」。TPP は、その最初の一步であります。イノベーションを次々と生み出す社会へと変革する。その鍵は多様性であります。三人寄れば文殊の知恵。多様性の中から、新たなアイデアが生まれ、イノベーションが起こる。「一億総活躍」は、そうした新しい経済社会システムを創る「挑戦」であります。」と語っている。

わが国は 20 世紀末のバブル崩壊後長い間低成長が続き、競争力も低下している。そのためにイノベーションへの期待が政策側からも持たれている。しかし、イノベーションで成長や競争力強化が実現できるか、という点に関してはよく考えてみる必要があるだろう。20 世紀前半フォード大量生産方式というイノベーションを起こした米国自動車産業はその後世界を支配したが、21 世紀に入ってビッグスリー3 社がすべてチャプタ 11(米国の会社更生法)に追い込まれた。1960 年代世界で初めてシリコン半導体を事業化したフェアチャイルド社は、その後の足取りを見ると売却されるなど苦難の道をたどっている。1980 年代、世界に先駆けてわが国は TFT 液晶を事業化し圧倒的なシェアを握ったが、今日シェア 1 位は韓国のメーカーに奪われている。

経済成長や競争力強化の問題はイノベーションと密接な関係があるのかもしれないが、これはこれとして研究されることが必要である。(後 5.4 章にて再論。)

イノベーション推進のための政策としては、まず技術開発が取り上げられる。しかし、技術開発はその一部に過ぎないのであって、技術開発によってイノベーションが興るという一方向型の考え方は上記の項でも明らかに否定されている。イノベーションを興すためには社会の変革が必要で、社会の側からニーズを興す、実現できる風土を創ることの方がより必要である。技術は既に存在しているものを調達すれば足りることが少なくない。

一例として、「遠隔医療」ということを考えてみよう。これまで、10 数年間長期にわたって色々な省庁が遠隔医療のための研究開発予算を投じてきた。一説に延べにして千近いプロジェクトがあったとされている。しかし、現実には遠隔医療は普及しなかった。予算が途切れるとプロジェクトも消滅していた。最近に至って、ようやく診療所から病院への画像診断と個人からの電話による相談について利用されるようになった。それは、その行為について診療報酬が認められるようになったためである。2015 年 8 月に厚生労働省から都道府県へ通達が出され、それまで原則禁止されていた遠隔医療が以下の範囲で認められることとなった。

『ア 直接の対面診療を行うことが困難である場合

(例えば、離島、へき地の患者の場合など往診又は来診に相当な長時間を要したり、危険を伴うなどの困難があり、遠隔診療によらなければ当面必要な診療を行うことが困難な者に対して行う場合)

イ 直近まで相当期間にわたって診療を継続してきた慢性期疾患の患者など病状が安定している患者に対し、患者の病状急変時等の連絡・対応体制を確保した上で実施することによって患者の療

養環境の向上が認められる遠隔診療(例えば別表に掲げるもの)を実施する場合』

いくら技術開発にお金を投じて、社会で成り立つような環境がなければイノベーションは起こらないということが示されている。それは、換言すればビジネスモデルということであり、価値の循環ということである。わが国での医療はその大部分が健康保険で支弁されていることを考えると、医療に関係するイノベーションを起こすためには、そのイノベーションを保険に組み入れるとか保険の枠組をつくるのが早道であって、むしろ技術開発は不要ともいえるであろう。

このことは、在宅医療とか予防型医療といった、今社会的に望まれている医療行為についても当てはまることである。

イノベーションを起こすために何が必要かを分析した上で、政策を実現していくことが期待される。

### (3) イノベーションの手法～オープン・イノベーション

H. Chesbrough が提唱したオープン・イノベーション、外部との協力、ということは古くから行われていたし現在でもごく一般的に行われている。発明や発見はひとりの人によって行われることがあるかも知れないが、事業化は単独では無理で、種々のリソースを提供する母体が必要である。発明においても、例えば、エジソンは研究開発会社組織型で進めたと伝えられる。

大学とか公的研究開発機関の技術シーズが産業界に移転され事業化されることは、一種のオープン・イノベーションといえる形態で、これまでに事例も多い。

企業間でのオープン・イノベーションを考えてみると、ある研究開発、ある設計、生産の過程で一部を協力先に委ねることは日常行われている。しかし、多くは発注元と受注先という関係で、通常は発注元が資金を負担する代わりに権利も得る、いわゆる下請型が多いと思われる。オープン・イノベーションという場合には、発注元・受注先が対等の関係で、受注先もある程度の権利を持ち、他のマーケットへ転用することができるような形態を指すのではないか。

そのためには、受注先が独自の技術を持っていることが必要である。コア技術があつて対等の関係が成り立ち、発注元・受注先が協力して新しい事業を起こす、これがオープン・イノベーションとして相応しいようである。例えば、強力なネオジム磁石の発明が強力なモーター開発につながり、それがハイブリッド自動車につながった、というようなケースで、磁石、モーターのメーカーは下請けというものではなかったと考えられる(モーターは自動車メーカー内製も多いが)。

コア技術の場合によってはカスタマイズする、カスタマイズの部分は発注元の権利となるかもしれないが、コア技術の部分については独自にマーケティングできる、というような形態が普及していくことは技術が複雑化し、1 社単独では新しい事業を展開することが難しくなった今日望まれるビジネス慣行である。オープン・イノベーションのためにはその意味から契約が重要になるが、契約時点で将来を見通してあらゆる事態を想定することは困難で、結局トップどうしの信頼関係が重要であることにな

る。後の P&G 社の事例でも以前に協業の経験があったところとのオープン・イノベーションが少なくな  
いようで、ある信頼関係が築かれた上での事例が多いようである。

オープン・イノベーションについては、後 5.3.4 でも触れることとする。

### 【第 1 章の参考文献】

- [1] Joseph A. Scumpeter, "Theorie der wirtschaftlichen Entwicklung", 1912  
邦訳:『経済発展の理論(ドイツ語版) : 企業者利潤・資本・信用・利子および景気の回転に関する  
一研究』塩野谷祐一・中山伊知郎・東畑精一訳
- [2] Everett M. Rogers, "Diffusion of Innovations", The Free Press, A Division of Macmillan  
Publishing Co., Inc., 1962, 1971, 1983.
- [3] J. M. Utterback & W. J. Abernathy, " A Dynamic Model of Process and Product Innovation",  
The Int. J1 of Mgmt Sci., Vol. 3, No. 6, 1975. Pergamon Press, 1975.
- [4] William J. Abernathy, James M. Utterback, Patterns of Industrial Innovation, Technology  
Review, June/July (1978)
- [5] Freeman C., The Economics of Industrial Innovation, (2<sup>nd</sup> ed.) London: Frances Pinter (1982)
- [6] Pete Drucker, "Innovation and Entrepreneurship", New York: Harper & Row, 1985.  
邦訳:『イノベーションと企業家精神』、小林宏治、上田惇生、佐々木実智男訳、ダイヤモンド社、1985。
- [7] J. G. March, Exploration and Exploitation, Organization Science, Vol.21, pp. 71-87, Feb. (1991).
- [8] C. M. Christensen, "The Innovator's Dilemma, When New Technologies Cause Great Firms to  
Fail", 1997. 邦訳:玉田俊平太、伊豆原弓訳、「イノベーションのジレンマ」、(2001)
- [9] Paul Nightingale, "A cognitive model of innovation", Research Policy, 27 (7). pp. 689-709.  
ISSN 0048-7333, 1998.
- [10] William L. Miller, Langdon Morris, "Fourth Generation R&D", pp4-10, 1998.
- [11] 藤末健三、「技術経営入門」、生産性出版、1999。
- [12] 「知識とイノベーション」、一橋大学イノベーション研究センター、2001
- [13] 織畑基一、「ラジカル・イノベーション戦略」、日本経済新聞社、(2001)
- [14] 「イノベーション・マネジメント入門」、一橋大学イノベーション研究センター、日本経済新聞  
社、2003。
- [15] Dorothy Maxwell, William Sheate and Rita van der Vorst, "Sustainable Innovation in Product  
and Service Development, Towards Sustainable Product Design", 8 October 2003, Stockholm, Sweden.
- [16] 寺本義也・松田修一、「MOT 入門」、早稲田大学ビジネススクール、(2003)

- [17] 山田太郎、「製造業の PLM と技術経営」、日本プラントメンテナンス協会、(2003)
- [18] Joe Tidd, John Bessant, Keith Pavitt, "Managing Innovation", John Wiley & Sons Ltd., 1st ed. 1997, 3rd ed. 2005. 邦訳:後藤晃、鈴木潤 監訳「イノベーションの経営学」、NTT 出版、2004。
- [19] 岸川善光、谷井良、八杉哲著、「イノベーション要論」、同文館出版、2004
- [20] Henry Chesbrough, "OPEN INNOVATION", Harvard Business School Corporation, 2003. 邦訳:大前恵一朗訳、「オープン・イノベーション ハーバード流イノベーションのすべて」、産業能率大学出版部、2004。
- [21] Jeffrey T. Macher, Barak D. Richman, Organizational Responses to Discontinuous Innovation :A Case Study Approach, International Journal of Innovation management, 8(1), (2004).
- [22] Wendy K. Smith, Michael L. Tushman, Managing Strategic Contradictions: A Top Management Model for Managing Innovation Streams, Organization Science, Vol.16 No.5, Sep.-Oct., (2004).
- [23] Jay Paap, Ralph Katz " Anticipating Disruptive Innovation" Volume32 Number 4 Fourth Quarter 2004.
- [24] James M. Utterback, "Disruptive Technologies: An Expanded View", International Journal of Innovation Management , 9(1),(2005).
- [25] James M. Utterback, Disruptive Technologies: An Expanded View, International Journal of Innovation Management , 9(1),(2005).
- [26] Wendy K. Smith, Michael L. Tushman(Harvard Business School, Harvard University, Morgan Hall, Soldiers Field Road, Boston, Massachusetts), "Managing Strategic Contradictions: A Top Management Model for Managing Innovation Streams", Organization Science Vol. 16, No. 5, September-October 2005, pp. 522-536.
- [27] NEDO 報告書「製造業におけるサービスのイノベーションを促進する科学技術のあり方に関する調査研究」、北陸先端科学技術大学院大学、2006年3月。
- [28] 山口栄一、「イノベーション破壊と共鳴」、NTT 出版 pp69-90、(2006).
- [29] [http://www.1000ventures.com/business\\_guide/innovation\\_radical\\_vs\\_incr.html](http://www.1000ventures.com/business_guide/innovation_radical_vs_incr.html)  
(Feb. 11th, 2007 アクセス)
- [30] [http://premium.nikkeibp.co.jp/bits/bits\\_column/column\\_c01\\_03.shtml](http://premium.nikkeibp.co.jp/bits/bits_column/column_c01_03.shtml) (検索:Jan. 23rd, 2007).
- [31] Michael A. Cusumano, "STAYING POWER Six Enduring Principles for Managing Strategy and Innovation in an Uncertain World", Oxford University Press, 2010. 邦訳『君臨する企業の「6つの法則」戦略のベストプラクティスを求めて』、鬼澤忍訳、日本経済新聞社、2012。
- [32] 丹羽清、「イノベーション実践論」、東京大学出版会、2010年1月。

## 第2章 わが国のイノベーション事例その1

21世紀に入った現在、わが国が抱える最大の問題は、長引いた経済成長の停滞にある。日本政府も、日本経済復活、脱デフレのために、経済政策、金融政策などを積極的に展開しているが、必ずしもその効果が実りある結果をもたらしているとはいえない状況である。その原因は種々考えられるが、先端分野でのイノベーションがわが国では興っていないのではないかと意見がある。しかし、以下で紹介するように JATES の調査では各企業はそれぞれイノベーションへの取り組みを不断に進めており、成果も小さくないようであった。ただ、インターネットとか GPS とかブラウザとか、社会に基本的な変革をもたらすような大型のイノベーション事例は少ないのかも知れなかった。

JATES 会員企業も低成長、給与の停滞、その中で中央研究所不要論、本業回帰論、ビジネスモデル論などが輩出する中で大いに悩み、問題意識を持ち寄ることとなった。この問題意識から、2000 年以降、「技術経営会議」を中心に、「産業構造転換」、「イノベーション志向経営」、「産業競争力強化」などをテーマとする研究会が立ち上がり今日に至っている。この低成長という課題は解決されておらず、道半ばではあるが以下表 2-1 にその活動状況を示す。

これらの専門委員会活動から表右列にあるような報告書、討論記録、論文等が生み出された。一方活動の一環として、イノベーションの事例収集や事例研究も行われた。それは研究開発から売上げを生み出すに至る一連の過程で、従事された方々の地道な努力や問題解決の結晶であったので、参加企業にとって直接糧となり血肉となり感動を与えるものであった。このような具体的なイノベーションのプロセスを産業界で共有することが、わが国全体のレベルアップに有効であろうとの知見が得られた。中には必ずしも知名度が高くなく、当該専門分野の人々に限定されているものが多数あるようである。そのようなイノベーション事例を探し出し、紹介し、顕彰することはわが国でのイノベーション活性化につながる。かくして、シュムペーターが「経済発展の理論」を上梓して 100 年目にあたる 2012 年のこと、そのための表彰制度(技術経営・イノベーション賞)が発足することとなった。

本制度では、審査委員には実際に産業界でイノベーションの成功ないし失敗の経験ある方々をお願いすることとし、技術経営会議の運営委員をお願いしている。また、評価の方法は公開し、年々見直しをかけている。現在(2016 年時点)の評価表を表 2-2 に示す。また、関係の方々のご理解が得られ、現在 2 省庁、2 新聞社のご後援と 1 財団の協賛を頂いている。

先ず本第2章では、わが国のイノベーション事例として、本「技術経営・イノベーション賞」受賞案件(4 年度分)を以下で考察する。

表 2-1 JATES 技術経営会議における研究委員会活動(技術経営、イノベーション関連)

研究委員会名	活動の期間	委員長(当時のお役職)	成果物等
研究開発主導の投資構造の転換と企業価値創造専門委員会	2002年10月～ 2004年2月	渡辺 誠一氏(ソニー(株)上席常務)	2004年12月報告書(「技術者研究者のためのビジネスモデル設計論」、「研究開発主導のインキュベーション」)
技術と経営のイノベーションによる企業価値創造の研究	2006年12月～ 2008年8月	山田 宰氏(パイオニア(株)特別技術顧問)	
イノベーション志向型経営研究	2008年9月～ 2010年8月	榎木 好明氏(松下電器産業(パナソニック)(株)フェロー)	「環境産業革命を軸に据えたグローバル事業戦略のあり方とは」(榎木好明、「技術と経済」、2011年4月号)
産業構造転換専門委員会	2010年9月～ 2012年8月	西谷 清氏(ソニー(株)業務執行役 SVP) 渡辺 尚生氏(東京ガス(株)常務執行役員) 他	「産業・事業構造の転換への挑戦」(「技術と経済」2011年1月号、2月号掲載)
産業競争力委員会	2010年4月～ 2011年11月	広崎 膨太郎氏(日本電気(株)副社長)	「我が国産業の国際競争力強化を目指して」(実務者のためのハンドブックとして、2012年5月) 「政策提言: 科学技術により産業競争力を強化し、国民を豊かにする」(2011年10月)
ソフトウェアとサービス懇談会	2011年6月～ 2012年8月	村野 和雄氏(株)富士通研究所会長)	パネルディスカッション「日本のソフトウェア・サービス競争力の現状とその展望」(2012年6月実施、「技術と経済」2012年11月号掲載)

科学技術とイノベーション専門委員会	2012年1月～ 2014年9月	久間和生氏(三菱電機(株)顧問) 齊藤正憲氏(三菱電機(株)顧問)	2014年12月に政策提言「科学技術イノベーションを通じて成長をめざす」を作成、政府、与党関係者に御説明。
-------------------	---------------------	--------------------------------------	---

表 2-2 JATES「技術経営・イノベーション賞」評価表  
(2016年度版)

「技術経営・イノベーション賞」評価シート												
下記の12項目について評価をお願いします。③項は小項目7項の上に総合評価をお願いします。*各項目毎に評価及びその理由をコメント欄にご記入ください。												
評価	①社会的意義	②シーズやシーズの活用	③取組みによって生み出した変化(ユニーク性、工夫)							④事業化・アウトカム		
	(①-1) 社会への影響と今後の展開・展望	(②-1) 科学技術の内容、研究開発プロセス、活用方法	(③-1) 製品の変化	(③-2) 顧客の変化	(③-3) 生産方式の変化	(③-4) 供給源・調達の変化	(③-5) ビジネスモデルの変化	(③-6) 組織・マネジメントの変化	(③-7) その他の変化	(④-1) 事業化の過程と問題解決	(④-2) 売上高、雇用者(累積値)	
	20点:社会、生活、産業、文化を非常に大きく変えた、あるいはその可能性が高い。 10点:社会、生活、産業、文化を大きく変えた、あるいはその可能性が高い。 12点:社会、生活、産業、文化を変えた、あるいはその可能性が高い。 8点:社会、生活、産業、文化に多少影響があった、あるいはその可能性が高い。 4点:あまり変わっていない	10点:科学技術成果ないし科学技術の組合せが非常にユニーク、うまく使った。 8点:ユニークな科学技術成果ないし科学技術の組合せ 8点:既存技術の組合せだがユニーク性がある 4点:多少新規性がある科学技術の組合せ 2点:多少の工夫があるがシーズという点で特にユニーク性はない	5点:従来にない全く異なる製品・サービスを投入 4点:相当に異なる製品・サービスに成功 3点:新規性ある製品・サービスに成功 2点:多少新規性ある製品・サービスを投入 1点:製品面では変化なし	5点:新規顧客、全く異なる顧客層を獲得 4点:ある程度異なる層獲得に成功 3点:多少獲得に成功 2点:既存顧客が増加に貢献 1点:顧客面では変化なし	5点:非常に革新、従来と全く異なる生産方式を実現 4点:斬新な生産方式を達成 3点:多少斬新な生産方式を達成 2点:従来の生産方式に改良を加えた 1点:特に生産面では変化なし	5点:非常に革新、従来と全く異なる供給源・調達を実現 4点:斬新な供給源や調達を達成 3点:多少斬新な供給源・調達を形成 2点:従来の供給源・調達に改良を加えた 1点:特に供給源・調達面では変化なし	5点:非常に革新、従来と全く異なるビジネスモデルを実現 4点:斬新なビジネスモデルを達成 3点:多少斬新なビジネスモデルを達成 2点:従来のビジネスモデルに改良を加えた 1点:特にビジネスモデル面では変化なし	5点:自社内あるいは顧客での組織・マネジメントが全くなってきた 4点:自社と顧客の組織・マネジメントが大きく変わった 3点:自社と顧客の組織・マネジメントが多少変わった 2点:自社のみの組織・マネジメントが多少変わった 1点:特筆すべき変化なし	5点:従来と比較して全く異なってきた 4点:従来と比較して大きく変わった 3点:従来と比較して多少変わった 2点:従来と比較してわずかに変わった 1点:特筆すべき変化なし	50点:ダントツの5点、または複数の5点がある 40点:5点がある 30点:すべて4点以下 20点:すべて3点以下 10点:すべて2点以下 0点:すべて1点	10点:非常に大きな障害をクリア 8点:大きな障害をクリア 6点:障害をクリア 4点:多少の障害をクリア 2点:問題は少なかった	10点:3桁オーダー億円の売上げ、または雇用100人以上 8点:2桁オーダー億円の売上げ、または雇用数十人 6点:1桁オーダー億円の売上げ、または雇用10人前後 4点:数千円オーダーの売上げ、または雇用数人 2点:現時点では売上高なし、将来期待
	20点	10点	各項目5点満点で採点をお願いします(同時時、考慮対象となります)							50点	10点	10点

## 2.1 電子コンパス(旭化成グループ)(2012 年度文部科学大臣賞)

2012 年度第 1 回時に文部科学大臣賞を受賞したイノベーションで、領域としては電子部品に属するが、ソフトウェアにユニーク性があり、大きく進展しつつあったモバイル、スマートフォンの時代に沿って大きな事業に育っていったものである。

### 2.1.1 概要と開発の動機

本テーマは「電子コンパス」と略されているが、応募時のイノベーション名称は、『センサー部品領域における「ハードとソフトの融合ソリューション」提供による「新ビジネスモデル」の創出』というもので、本イノベーションの内容を的確に表している。すなわち、製品としてはセンサー部品領域であるが、ハードとソフトウェアが融合され、さらに新たなビジネスモデルをユーザーに提供した。

非常に微弱である地磁気を大きなノイズが存在しているスマートフォンの筐体内で高精度に検出し、それによって利用者をガイドする。一般的に計測技術者は精度が高いものを、一桁でも二桁でも高い性能を発揮する計測デバイスを求める。大きなノイズがある空間で微弱な信号を検出することはあきらめがちである。

本事業の牽引者であった山下昌哉氏は、それまでの研究開発のご経験から微弱な信号でも目的とする機能を発揮することができる、との信念を貫き本イノベーションを成功させた。

山下氏をリーダーとするグループは、2000 年頃に米国で「携帯電話へ現在位置通知機能搭載」の義務化が話題になったことから、将来の「歩行者ナビゲーションサービスの普及」と「方位角計測デバイス＝電子コンパスのニーズ」を予想した。

旭化成グループにはそれ以前に次の技術シーズを保有していた。

- ・旭化成電子(株)のホール素子(磁気センサ)技術

これは、モーターの回転数や電流などを磁場によって計測するためのデバイスで、数量的にはかなりの生産量が以前からあったようである。

- ・旭化成マイクロシステム(株)の信号処理回路(LSI)技術

旭化成は半導体事業にも進出していた。オーディオ用や産業用のリニアデバイス、電源制御用デバイスなどで実績があった。

- ・旭化成(株)中央技術研究所の情報処理ソフトウェア技術

これら3つの異分野技術を個別に開発するのではなく融合させ、歩行ナビというアプリケーションに向けて、「目的最適化」したことが大きなイノベーションにつながった。

すなわち、一般的には先ずセンサーを開発し、そのセンサ信号増幅のために LSI を設計し、それができあがると動かすためのソフトウェアを開発する、という手順が採られる。これを本開発では、情報処理ソフトウェアの開発→信号処理回路→磁気センサー、という通常とは全く逆の順序で、製品開発

を行った。その背景としては、第 1 に地磁気のセンシングは強い磁場の影響のあるところ(小型 IT モバイル機器の内部)で行われるので、センサーの感度よりも信号処理の方が重要になるとの予測があった。第 2 はマーケティングの方法として製品の開発以前にキットでこのようなことができるというデモンストレーションをユーザーに対して行い、その反応を開発に取り入れるという方法を採用した。そのため、ソフトウェアの開発が先行するという事となったことがある。また、既成製品であったホール素子をそのまま使って目標を実現させたい、実現できるとの信念もあった。

すべての技術が社内にあったわけではなく、磁気収束板と Si モノリシックホール素子の技術を用いた、1チップ2軸磁気センサーを、スイスのセントロン社と共同で開発。初期の頃(2001 年～2003 年)共同開発当時は、磁石を用いた回転角センサーへの応用を目的としていた。

これを、後に旭化成で発明した磁気オフセットの自動調整技術と融合し、地磁気レベルの測定が可能になる3軸磁気センサー技術へと発展させた。

着手時期：2000 年 5 月(基礎技術検討開始)

市場化時期：

2003 年 7 月(基礎技術製品出荷)

2009 年 2 月(現行技術製品出荷)

市場(現在の Smart Phone)が誕生したのは、2008 年 10 月

## 2.1.2 事業化までの困難性・市場の状況

先ず本テーマに着手する以前に町の中、ビル陰、種々交通機関の隣などでどの程度のノイズがあり、地磁気に対して影響があるのかの調査測定を行った。その結果、予想外に正確に地磁気を測定できるということが判明し、プロジェクトの先行きに自信が芽生えた。この現場での測定とそれに基づく感覚は本開発の全工程で大きな力となった。

開発に着手してからは以下のような困難があり、それぞれ対策が講じられた。

- ・ホール素子でも地磁気が十分に検出できることの証明と社内説得。

実際に量産されているホール素子を 3 つ使った回路を製作、PC 画面上で方角を示すデモ機を作成し、高感度磁気センサーでなくホール素子の電子コンパスに競争力があることを説得した。本デモによって社内で正式のプロジェクトとして認められるようになった。

- ・3 軸検出可能な磁気センサの量産技術開発。

多くの他社製品は 2 軸のセンサーが用いられていたが、利用者の使用環境を考えると 3 軸が必須と考えた。そこで、超小型モジュール構造を目指し、当時世界最小・最薄の 3 次元実装技術開発に

邁進した。

・利用者に負担を掛けずに、磁性部品からの磁気オフセットを調整する「自動調整方法」の発明と実用性確立。

正しいセンシングのためにキャリブレーションが必要である。類似製品はその手順が複雑・多段階で一般的でなかった。そのため、独自の手順を開発、特許化した。

それら困難の克服策をまとめると、次のような対策を講じていったこととなる。

・開発開始前にデモ機(仮想機)を作成して技術マーケティングに活用した。

・第1段階として、4チップのモジュール構造による1パッケージ3軸磁気センサーを実現し、量産出荷後に第2段階として、磁気収束板方式を用いた1チップ電子コンパスを開発して、製品を世代交代させた。

・独自のオフセット自動調整アルゴリズム「DOE」を発明。(平成24年度全国発明表彰「恩賜発明賞」を受賞。)

・さらに自動調整アルゴリズム「DOE」および方位角の傾斜角補正計算。

・アプリケーション上で必要なソフトウェアを一式全部「ライブラリ」にまとめて、使用許諾契約(SLA)の元で無償提供し、「半導体製品」のハードウェアを販売する「新ビジネスモデル」を採用、確立させた。

外部との連携については以下が挙げられる。

・同業者(競合)でもある MEMS センサーメーカーとの製品開発連携。

・通信事業者やサービスプロバイダーとのアプリケーション開発連携。

市場の状況・現在の市場規模については、2012年の電子コンパス全世界市場規模(調査会社推定値)6億9千万個/3億9千万ドル(調査会社によれば、旭化成エレクトロニクス(株)の推定世界シェアは、70~80%)とされている。リーマンショック期にあたる2008年から2010年にかけては年9倍、9倍、2年間で80倍販売量が伸びた。

量産製造技術担当部門としては、電子部品領域の事業会社である旭化成エレクトロニクス(株)に製造技術部門を置く。自社内にも製造工場を持つが、以前より製造工程の外注化・並列化を積極的に実施し、電子コンパス製品受注数量の増加・変化やBCP(Business Continuity Plan)の要望へも、柔軟に対応できている。

マーケティング担当部門としては、旭化成エレクトロニクス(株)に、地域別の営業部門と電子コンパス事業を担当するマルチセンサー事業グループを置く。

仕様書の数値性能を重視する従来の半導体製品(センサー部品)販売方法に囚われず、国内電機メーカー依存を脱却し、新しいビジネスモデルの開発という認識に立って積極的に海外展開を実践した結果、2011 年度に 4 億個出荷・輸出比率 9 割以上・推定世界シェア 7~8 割を達成した。

関連設備投資規模・雇用規模:

エレクトロニクス領域全体の設備投資額は、年間 200 億円前後で推移(注)。

従業員数 約 3,800 名(2011 年 3 月現在)

(注)

電子部品領域と電子材料領域を合算した旭化成の事業領域区分。

半導体製造設備は汎用であるため、本件関連の投資・雇用だけを分離できないため、エレクトロニクス領域全体の数値を挙げた。

### 2.1.3 成功要因と今後のビジョン

取り決めた仕様に基づいて技術を個別に性能最適化する“分担型”ではなく、異なる技術領域(各事業会社)の枠組みを超えて全体を目的最適化する“融合型”の開発を行い、「これまでに無かったセンサー系部品のトータルソリューション提供事業」=「新しいビジネスモデル」の創出を目指したことが基本的な成功要因である。

まず市場を見定め、課題を明確化し、必要な技術を見出す開発の技術マーケティングを重要視した。その結果、磁気センサー・信号処理回路・情報処理アルゴリズムという、会社組織も技術分野も全く異なる 3 つの領域が融合したソリューションを開発することが可能となり、競合他社とは一線を画したコンセプトの電子コンパスが誕生した。

開発前に、想定する技術を具体化して見せる「デモ機」(機能が動作するモックアップ)を製作して、技術マーケティングや PR シーンにおいて最大限活用し、通常とは全く逆順の開発プロセスを実現した。

競合他社の技術開発思考を想定しながら、市場で必要とされる以上の高性能化を目指さず、量産性・コストで先回りする技術を開発した。

電子コンパス開発の実践において見出された商品コンセプトを基に、現在は『センサーとサービスをソリューションで結ぶ』というビジョンを掲げ、さらに新しい製品とビジネスモデルを開発している。

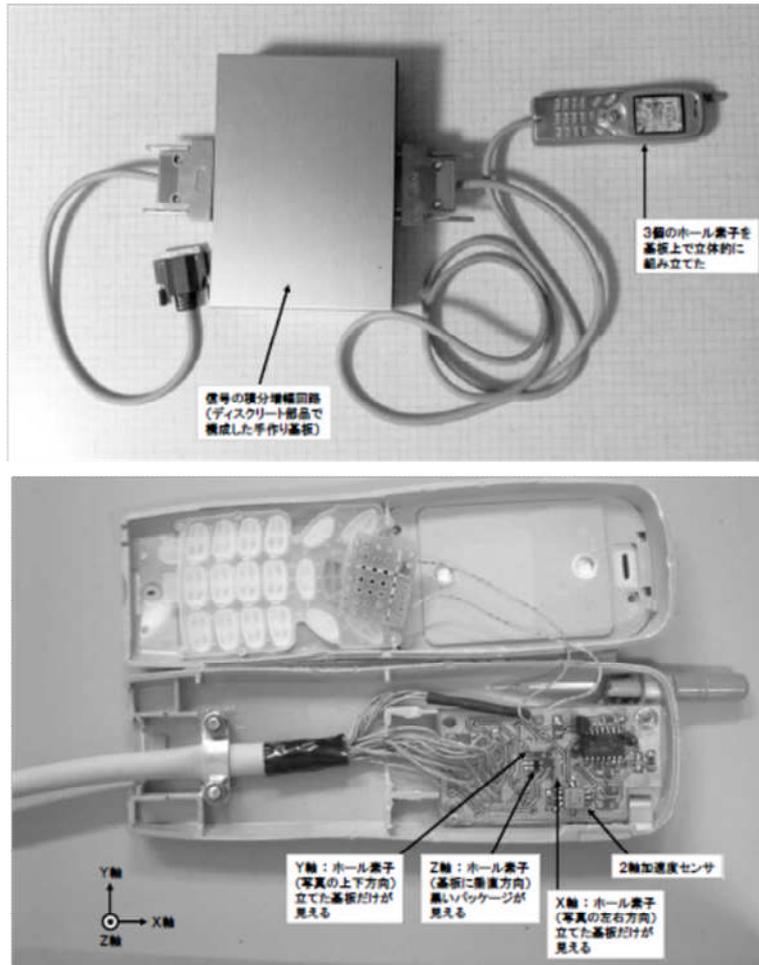


図 2-1 最初のデモシステム(2001年6月)

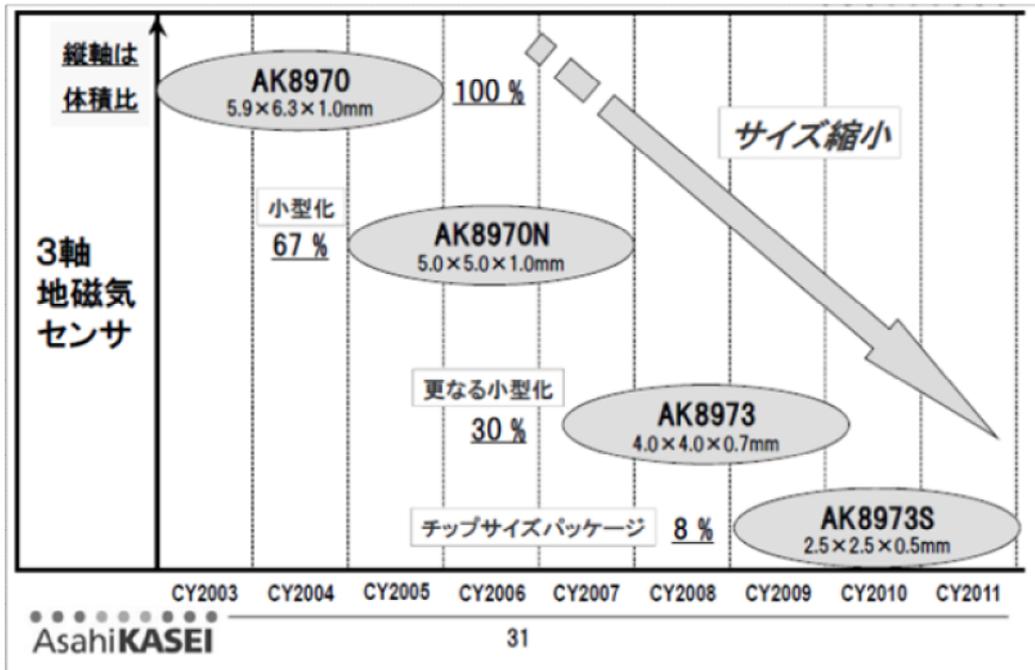


図 2-2 3軸電子コンパス(AK8970シリーズ)小型化の歴史

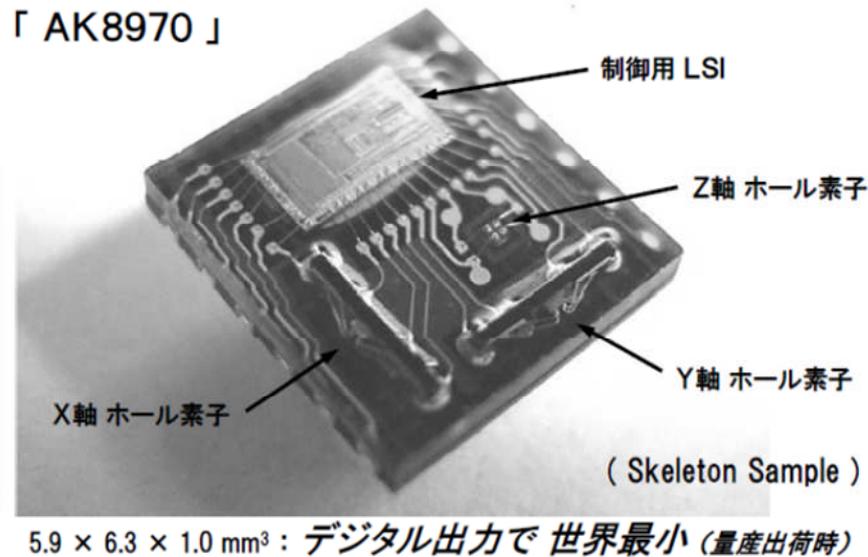


図 2-3 世界初(量産出荷時)の携帯電話用 3 軸電子コンパスモジュール

- **企業のイノベーションは、意識しないと生まれない**
  - ひとつの事業創出には、約10年の歳月が必要
    - ➡ 長期間(約10年)、同じコンセプト(思想)で行動できる組織と人材が必要
  - 「シーズアウト」と「マーケットアウト」は、周期的に入れ替わる思想
    - ➡ 入れ替わる時に、大きな変革(イノベーション)が起きる?
  - 視点(思想)を変えるには、具体的なツールが必要
    - ➡ 掛け声だけでは変わらない。目標を表現するツール(ex. デモシステム)が必要
  - 発想のユニークさは、見えないニーズを見いだすことから生まれる
    - ➡ 今、市場で見えるニーズは、数年前の製品・アイデアから生まれたもの
    - ➡ 「未来のニーズ」を見いだすためには、イマジネーション(想像力)がポイント
- **電子コンパスは、センサではない！**
  - 「物理量変換器」から、「情報デバイス」へ
    - ➡ 評価指標は、「感度」から「信頼性」へ・・・指標が変わると、「性能」の価値が変わる
  - 価値を産み出すのは、「性能」でなく「機能」
    - ➡ 「情報デバイスの価値」は、「アプリケーションの価値」と、相乗効果で普及する

図 2-4 本イノベーション・プロセスのまとめ

## 2.2 プログラミング言語 Ruby(まつもとゆきひろ氏)(2012 年度会長賞)

### 2.2.1 概要・研究開発の動機

本事例はわが国発のプログラミング言語で、世界的に高いシェアを獲得した数少ないイノベーションである。まつもとゆきひろ氏(株式会社ネットワーク応用通信研究所)が自ら感じていたニーズに沿って開発、その後オープン型として世界からの英知が集められ進展していったもので、オープン型の開発という意味でも日本発の珍しい事例である。

1990年代からインターネットが発展し、ブラウザの普及に伴って業務系へのブラウザ応用が進展する傾向が予見された。このようなWebシステム系向けの言語もJava、Perl、PHP等が開発され利用も広がっていたが、一長一短があり必ずしも開発者すべてが満足するという状況にはなかった。まつもと氏も不満を感じていた。

そこで、このようにアプリケーションが増加・拡大しつつあるWeb系で、「開発効率の良い」という観点に着目し新たなプログラミング言語の開発を追究することとなったものである。短納期、少数技術者での開発が可能となるような言語を指向した。

上記のようなWebアプリケーションのソフトウェアの開発で開発者自身が感じていた問題点を解決し、自ら使ってみたい、という自身の要望が最初のきっかけであった。

その着手時期は1993年のことである。

## 2.2.2 事業化までのプロセス・現況と今後のビジョン

言語“Ruby”としてオープン型(後記)で開発された本プログラミング言語は徐々に普及し、2007年頃から知名度も高まっていった。“TIOBE” Index(注1)という、世界で使われる比率が高いプログラミング言語として、2007年にベスト10入りし、今日に至るまで常に上位を占めている。最近(2016年5月)のランキングで史上最高位となる第8位が記録された。

一般的にこれまでに多くのプログラミング言語が開発され、成功したものの普及しなかったもの多数がある。一般的に普及のためには、

- ・ソフトウェアとしての優秀性(の維持)、他の言語との差別化、ソフトウェアの進歩維持
- ・国際的に通用すること(英語をベースとした開発)
- ・ユーザコミュニティの形成

などが必要要件といわれている。

“Ruby”はこれらの要件を乗り越えることによって普及が進んだと考えられる。

それら困難の克服にあたっては、コアとなる人々(たとえば、Rails Core Team(注2))の努力が大であった。

オープンソースのWebアプリケーションフレームワークとしてRuby on Railsを構築(注2)。

Rubyのライブラリやアプリケーションの流通ルートとしてRuby Gemsを構築。

オープン型開発が資したところも少なくない。

当初から国際語である英語をベースとした、外国人が英語化に協力した。

外部との連携の有無という点では、オープン型での開発が行われた、ということはすなわちオープンな外部連携があったということである。

Rails Core Team(注 2)との連携があった。

開発資金について、初期は少人数で開発が進められ、資金も自己負担であった。

利用度が高まってから、Web 運用企業(楽天、Salesforce.com など)による支援もあったが、基本はオープン・コミュニティ、ボランティアによる開発であったと考えられる。

産学連携について、特定校との連携はないが、学生個人の開発への参加はあったし現在もある。

現在の市場規模については、オープンソースの言語なので直接の売上げ(販売額やライセンス料)はゼロであるが、利用面でみて以下のような大きな市場となっている。

アプリケーション構築に用いられる費用換算で市場を考察すると、世界全体での Web アプリケーション構築・維持費用は年間 50~100 兆円(推定)とみなされ(わが国規模からの推定)、これには、Java、PHP、HTML、Perl などの言語が主に用いられる。Ruby が使用される市場も拡大しており、その 2%(注 1)に Ruby が適用されているとして、1~2 兆円程度の大きな市場規模相当となる。

以上の市場推定はプログラミング開発という作業だけを見たものであるが、今日 Web 上では実に多くの業務が実行されている。開発されたシステムによる電子商取引、受発注業務、物流、オンラインバンキングなどの業務上の取引金額を考慮に入れると、さらに大きな市場に“Ruby”は貢献していることになる。

#### 【関連設備投資規模・雇用規模】

・開発に携わる技術者 数百人~千人(全世界)

・雇用面については、Web アプリケーション構築に従事する技術者を国内 1~2 百万人と推定、その 2%(注 1)として 20~40 千人の規模となる。

世界全体では、従事者を 10~25 百万人と想定して、そのうちの 2%、200~500 千人。

#### 【成功要因】

・個人の情熱により当初の思いを貫き通したこと。

・グローバルに情報発信し、このソフトの有用性が多くの国の技術者に認められ、共同開発および応用を推進するコミュニティが形成できたこと。

・このソフトが得意とする Web 分野がインターネットビジネスの萌芽期にマッチし急拡大したこと。

今後のビジョンとして、次のような方向が考えられている。

・今後の新しいソフトウェア開発環境への対応

・組み込み型ソフトウェアアプリケーションへの展開

・バイオインフォマティクス、ゲノム解析等のアプリケーションへの展開

など。

特筆事項として、日本発でグローバルに拡大し、広く認知されるオープンソフトウェアとなったものは Ruby が初めてである。日本のソフトウェア技術者を刺激し、ソフトウェアビジネスにおいても今後グローバルな地位を占めていくための勢いをつけた点、大いに評価される。

(注 1) Tiobe Index

TIOBE はオランダのソフトウェア企業で、2000 年フィリップス研究所のソフトウェア、主にコンパイラ一、の技術者がコアとなって設立された。ソフトウェアの品質評価、解析などを世界的に認められているコーディング標準によって行うことを主業務としている。“TIOBE”は、“The Importance Of Being Earnest”の頭文字から来ている(社業のモットーであり、また Oscar Wilde が 19 世紀末に書いた喜劇のタイトルでもある)。定期的にプログラミング言語の使用頻度ランキングを発表している。下表に最近時点(2016 年 9 月)のランキングとシェアを示す。Ruby のシェアは約 2%である。

表 2-3 Tiobe Index(2016 年 9 月)

Sep 2016	Sep 2015	Change 変化	Programming Language プログラミング言語	Ratings レーティング	Change 変化
1	1		Java	18.236%	-1.33%
2	2		C	10.955%	-4.67%
3	3		C++	6.657%	-0.13%
4	4		C#	5.493%	+0.58%
5	5		Python	4.302%	+0.64%
6	7	▲	JavaScript	2.929%	+0.59%
7	6	▼	PHP	2.847%	+0.32%
8	11	▲	Assembly language	2.417%	+0.61%
9	8	▼	Visual Basic .NET	2.343%	+0.28%
10	9	▼	Perl	2.333%	+0.43%
11	13	▲	Delphi/Object Pascal	2.169%	+0.42%
12	12		Ruby	1.965%	+0.18%
13	16	▲	Swift	1.930%	+0.74%
14	10	▼▼	Objective-C	1.849%	+0.03%
15	17	▲	MATLAB	1.826%	+0.65%
16	34	▲▲	Groovy	1.818%	+1.31%
17	14	▼	Visual Basic	1.761%	+0.23%
18	19	▲	R	1.684%	+0.64%
19	44	▲▲	Go	1.625%	+1.37%
20	18	▼	PL/SQL	1.443%	+0.36%

(注 2) Ruby on Rails/Rails core team

“Rails core team”は、2000 年代初頭から“Ruby”の開発にあたり、各版のリリース、プルリクエスト評価、クレーム対応、新機能への下準備(groundwork)などを行い、現在も行っているコア・チームのこと。“Ruby on Rails”はこのコア・チームが開発したフレームワーク(Web アプリケーションで多く利用される共通的なライブラリ、開発の重複を避け効率を高めるためのもの)である。

## 2.3 SDN(Software Defined Network)オープンフロー(NEC)(2012 年度会長賞)

2012 年度の(社)科学技術と経済の会会長賞受賞のイノベーションで、通信分野、ソフトウェアによるネットワーク管理システム・装置が含まれる。

### 2.3.1 概要

インターネットなどの通信インフラは過去 40 年以上にわたって発展し続け、今や社会生活に欠かすことのないものとなったが、それでもなお容易に解決できない多くの課題がある。例えば、クラウドコンピューティングが日常のものとなった現在、それを支えるデータセンターなどの巨大 ICT システムにおいては、日々変化する顧客からの要求や社会情勢に対し、迅速かつ安価に ICT 基盤を構築し再構成することで常に新たなビジネス基盤を提供することが求められている。一方、社会インフラとしての通信ネットワークを見ると、災害時の緊急通信など、強靱で安定した通信環境の実現や携帯端末による爆発的なトラフィック増大への対応など、安心安全なローバスト社会基盤の実現が熱望されている。

これらの課題の解決には、ネットワークの高速化や大容量化といった従来の指標だけでは測れない、各々の基盤に求められる機能仕様を満たす必要がある。つまり、通信インフラを再構築することなく仕様変更に対応でき、ネットワーク機器を更新することなく新サービスを提供できるといった柔軟性が重要である。具体的には、巨大 ICT システムでは、仮想化されたネットワーク資源をオンデマンドで提供する機能や、高度に統合され自動化された運用機能が求められる。社会インフラには、ライフイノベーションやセンサネットワーク、広域災害時への備えなどにも適合し、安定で大規模なシステム構築に迅速かつ柔軟にプロビジョニングできる通信インフラが必要となる。

そこで、NEC は「Software-Defined Networking ビジョンの実現に向けた OpenFlow 事業の立上げ」に取り組んできた。

このようなデータセンターや通信インフラは、図 2-5 のように多種多様なサービスやビジネスを、一つの物理的な環境で支える基盤によって実現されるべきと考える。ここでは、各種の物理資源は仮想化され、かつ統合管理され、要望に応じて動的に変化する。このような理想的なネットワークのビジョ

ンを Software-Defined Networking (以下 SDN) と呼び、その実現に向けた技術および事業の開発に取組んだ。

### (1) 技術シーズ

SDN 実現のコア技術の一つは次項で詳述する OpenFlow 技術であり、その事業化技術は、以下に示す社内で蓄積された実装技術である。これまで、SDN ビジョン実現に向けネットワーク仮想化、ネットワークを利用した I/O 仮想化、ネットワーク上のコンテンツ配信技術など、ネットワーク、IT、サービスを効率運用する要素技術の研究開発を推進してきた。一方、これら技術を事業化するためには、以上の要素技術を組み合わせ活用するための統合管理運用技術が重要である。以上が、次項で詳述する OpenFlow 技術に基づく関連製品/ソリューションにおける実装技術としての基礎となった。

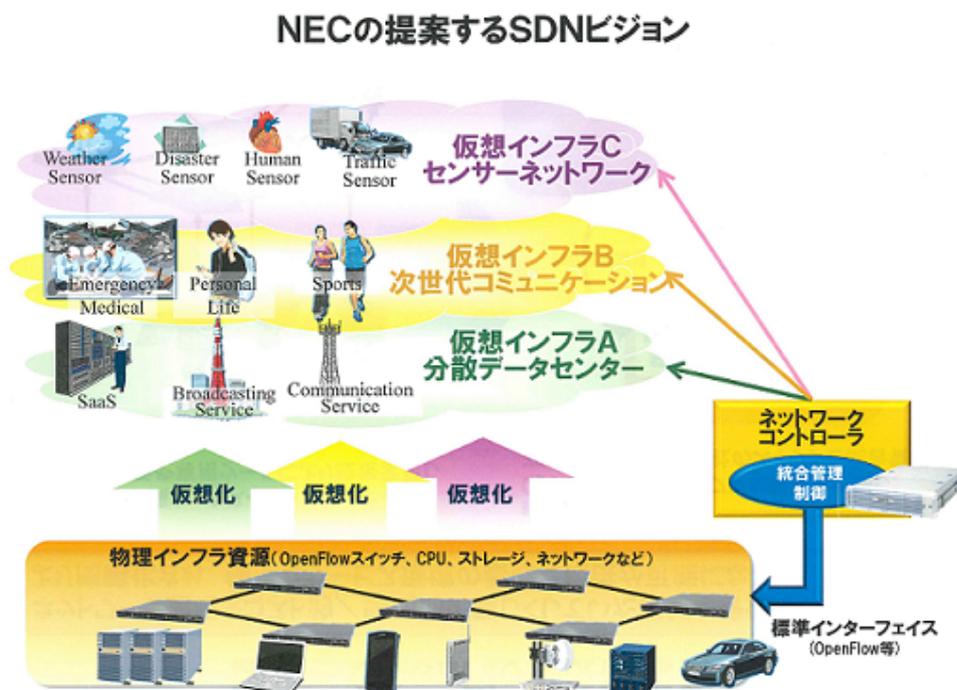


図 2-5 SDN のビジョン

OpenFlow 技術は 2007 年にスタンフォード大学の Nick McKeown 教授らにより提唱された。同技術では、多様なネットワーク機器の差異を抽象化し、統一されたプログラマビリティを実現するため、“フロー”という概念を用いて柔軟な機能構成モデルを定義している。そして、オープンなプログラマビリティ実現のため、図 2-6 のようにネットワーク機器の制御機能を別体となったコントローラ側に移し、その間にオープンなプロトコルを定義した。以上の結果、ネットワーク機器を一々個別に扱う必要がなくなり、コントローラ上のプログラムを扱うだけで、目的とするネットワークの所要機能を実現できる。

NEC はこの OpenFlow のもつ先進性に当初から着目し、OpenFlow が従来の ICT システムや通信

インフラの課題を解決しSDNビジョンを実現するための主要な要素技術であると考えた。そして、同技術の開発初期段階から研究者を派遣してその研究開発を推進した。また、開発技術やプロトタイプ装置の提供を通じ OpenFlow の技術確立と規格化に大きく貢献してきた。

## (2) 着手時期

NEC は 2007 年の OpenFlow の登場以来一貫して、スタンフォード大学チームと共同で研究開発を推進してきた。その技術開発の初期段階である 2008 年には早くも世界初のハードウェア処理が可能な OpenFlow スイッチのプロトタイプを完成、その有効性を実証するための研究ツールも提供し、製品化に向けた技術開発を開始した。

社内担当部門は、クラウドシステム研究所であった。

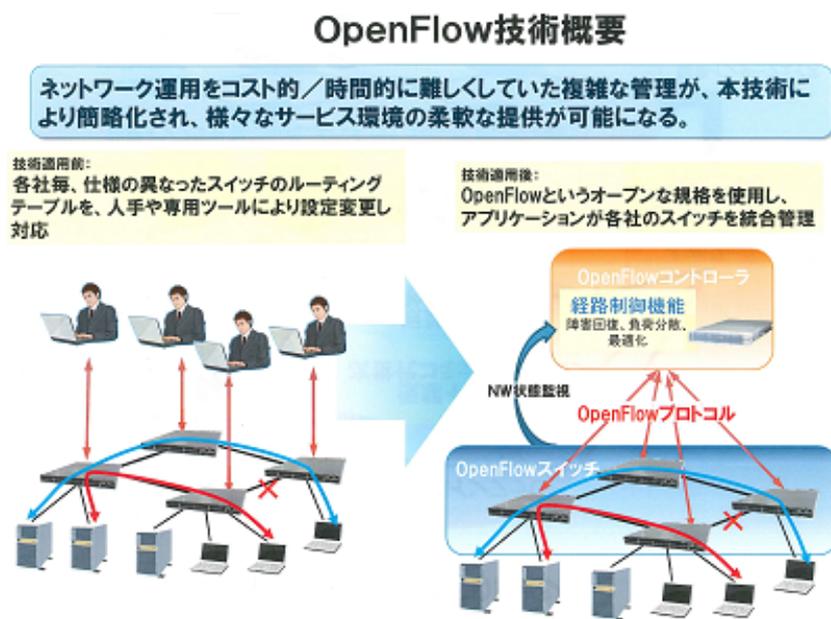


図 2-6 オープンフローの技術概要

## 2.3.2 市場の状況・今後のビジョン

### (1) 市場化時期

以上の共同研究や試作からのフィードバックによって OpenFlow 技術の完成度を向上させ、2011 年には OpenFlow スイッチとして世界で初めての製品「ProgrammableFlow PF5240 switch」(日本製品名:「UNIVERGE PF5240」)を実現した。同製品を展示した世界的な通信インフラ展示会である Interop Las Vegas 2011 では、インフラストラクチャー部門で Best of Interop 2011 を受賞した。更に OpenFlow コントローラ「ProgrammableFlow PF6800 Controller 2.0」(日本製品名:「UNIVERGE PF6800」)の製品化を進め、翌年には同展示会で「Best of Interop」の Grand Prize(大賞)を受賞した。

これは Interop 史上初となる日系企業および日本製製品の Grand Prize 受賞であり、市場での同技術の認知も確かなものとなった。

## (2) 事業化までの困難性

SDN ビジョンの実現に必要な技術の領域は、従来から大手スイッチベンダーのデファクトスタンダードで固められた IP ネットワーク環境と、その運営ノウハウで構築されていた。これに対し、OpenFlow は柔軟で高効率な新たなネットワークを構成するという、全く異なる思想のアーキテクチャーを目指している。そのため、導入に係る事業的な困難さの打破には、認知度の向上と共に、この技術をサポートする仲間作りが不可欠であった。

また、たとえ参入に成功したとしても、OpenFlow はスタンフォード大学という学術的な実験ネットワークを起源とするため、それが商用に供しうるということを証明しなければならない。技術課題の解決はもとより商用実績のない新規技術をユーザーに認知／浸透させる必要があり、事業化立上げには大きな困難と労力が伴うと予想された。

## (3) それら困難の克服策

事業化に向けた最も大きな困難は、①技術に対する認知度の向上と仲間作り、②技術的な信頼の獲得の 2 点であった。以上に対し、次のような対策を推進することでその克服を進めた。(図 2-7 を参照)

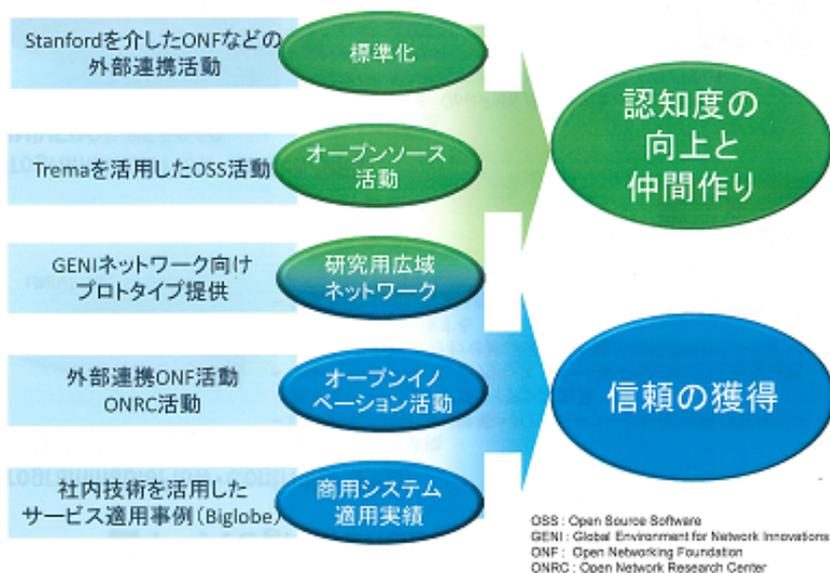


図 2-7 SDN 実現へ向けた活動

ア. 技術に対する認知度の向上と仲間作り

ユーザーに対する認知度の向上と仲間作りを推進し、事業立上げに係る参入等の課題解消を進

めた。具体的には、以下に詳述するスタンフォード大学をはじめとした外部機関との連携と、標準化に向けた活動の推進、プロトタイプ装置の提供などが認知度向上の施策である。また、以上の活動は ONF (Open Networking Foundation) への 80 社を超える参加企業を獲得するなど、仲間作りに寄与した。

一方で、OpenFlow 技術を広く技術者やユーザーに認知／浸透させ、通信インフラとして継続的な進化発展に導くために、オープンソース活動を推進した。これらのオープン活動が、研究コミュニティ一等を起点とした認知度の向上と共に、仲間作りに大きく寄与してきている。

以下、主なオープンソース(OSS)活動事例を示しておく。

-Trema をオープンソースソフトウェアとして無償で一般公開。

(Trema とは OpenFlow コントローラを開発するためのフレームワークのこと。

<http://trema.github.com/trema/>)

-サンプルコードを自由に利用／拡張し共有するコミュニティを運営し、他社プロトタイプへの採用を実現。

-日米欧の学会等でのデモやチュートリアルなどでの啓発活動。

-広域学術ネットワーク上の OpenFlow 実験網等に Trema を提供。

#### イ. 技術的な信頼の獲得

技術的な信頼獲得に向けては、大規模システムにも対応できる技術の確立とともに、以下のような多角的な連携活動の推進によって信頼の獲得を進めた。

-実システムによる実績作りの推進

技術開発に向けてはスタンフォード大学と密に連携した技術開発を推進するとともに、全米の大規模広域実験ネットワークである GENI などの実ネットワークにおいて、ハードウェアで実装した OpenFlow スイッチ運用稼働などの実績を積み上げた。

-実サービスへの適用

次項に示す ONF における標準化活動の推進とともに、Open Network Research Center (ONRC) を共同で設立し、SDN ビジョンに基づく将来的なイノベーションに向けた研究開発活動を推進した。

社内の要素技術と OpenFlow とを連携させることにより、実サービスへの適用事例の積み上げを複数推進し、OpenFlow の有効性を実証した。特に通信キャリアのように大規模なシステムに対応可能なシステムを開発することで、技術の信頼獲得にも成功している。

-標準化

技術開発と共にその標準化が重要である。それは、当初 OpenFlow Consortium と呼ぶ業界団体が進められたが、その後 OpenFlow/SDN の正式な標準化団体 Open Networking Foundation (ONF)が

2011年3月に発足し、現在80社を超える会員が参加している。NECはこのONFでの標準化活動に、提案活動、相互接続試験活動などを通して技術貢献を果たしてきた。

#### -開発

また、ONFと並行する形で、OpenFlowの次世代将来技術への展開を目指した、OpenFlow/SDNの研究開発やオープンソース開発を推進する組織として、Open Network Research Center (ONRC) (<http://onrc.net/>) が2012年3月に発足した。本研究センターは、スタンフォード大学の研究グループ (Nick McKeown 教授)、カリフォルニア大学バークレー校の研究グループ (Scott Shenker 教授) と、NECを含む12社の企業が参画したNPO法人「Open Networking Lab (ON.Lab)」によって構成されている。NECはこの研究開発活動にも参加し、SDNソリューションの次世代技術開発を推進している。

NECでは独自にOpenFlowの信頼性やスケーラビリティを高める技術も開発しており、この技術の実証の為にOpenFlowフレームワーク「Trema」を開発し、大規模なコントローラ、スイッチ群を管理可能とした。この技術は前項で述べたようにオープンソースとして公開しており、大学などとの共同研究への活用や、NECにおける商用製品の基盤技術としても活用し、技術強化を継続している。

外部資金の有無については、OpenFlowに関連する要素技術研究として、総務省の「グリーンネットワーク技術の研究開発」からの投資を活用し、複数スイッチをメッシュ構造に組み合わせたネットワークにより省電力で大規模なネットワークを実現する要素技術の研究を進めた。また、その研究成果を活用し、OpenFlowにおけるメッシュネットワークによる大規模化対応技術の開発や、プロトタイプ装置を開発した。それらは、OpenFlow研究の初期段階において、スタンフォード大学のキャンパスネットワークや、全米の大規模広域実験ネットワークであるGENIなどの実ネットワークに投入された。

OpenFlowの提唱以来、一貫してスタンフォード大学の研究チームと共同開発を進めているが、種々のネットワークを利用した運用稼働実績とその実証は、まさに密な産学連携活動の成果であり、本技術が各方面からの信頼を得る大きな契機となっている。その実現を通して、スタンフォード大学を中心としたアカデミアにおける研究成果と、NECによる世界初のハードウェア処理によるOpenFlowスイッチなどの技術開発成果を融合させ、効果的効率的な産学連携の事例として、イノベーションを生み出したものと考えられる。

#### (4) 市場の状況

現在、NECのOpenFlowコントローラは、他社製OpenFlowスイッチとの接続評価を順次推進しており、事業としては立上げ初期の段階にある。その中で、世界に先駆け2011年に当該技術による製品の販売を開始し、標準化においても領域や業界をリードしている。これらの製品を活用した通信キャリア、流通業、大学病院などへの導入実績も徐々に始めている。他社事例を含めてもまだ実績は多くなく、成長するのはこれからという状況である。

一方、NECはNECビッグロブ(株)と共同で、運用負荷を軽減できるネットワーク仮想化技術を用

いたクラウドコンピューティング基盤を開発した。これは OpenFlow を活用することで、従来3週間程度かかっていたシステム構築(SI)に要する期間を、最短で15分という圧倒的な短期間にできるものである。本システムは、この2012年秋より、まずは NEC 自社サービスに適用し、2013年春には法人向けとしてのサービス提供開始を目指している。このシステムのコア技術は、前記の Trema フレームワークを利用したシステム構築であって、OSS などの外部連携やオープン・イノベーションの成果が効率的に製品強化及び市場拡大につながることを実証したシステムともなっている。

#### (5) 今後のビジョン

NEC は SDN ビジョンの実現を目指し、コミュニティーづくりなどによるオープン・イノベーションを推進し、OpenFlow を中心とした新たな効率的インフラの姿としてその具現化を進めてきた。まだ立ち上がったばかりではあるが、これまで次第に同技術の認知と仲間作りは進み、信頼を獲得してきた。

今後も変化する社会環境や社会サービスに応じて、それを支える通信インフラも絶えず変化することが求められる。そのためには、サービスに最適な新しい通信インフラが次々に生まれ、淘汰されるといった新しいライフサイクルの実現が必要である。

このような有機的なライフサイクルを実現したネットワーク環境が OpenFlow/SDN を基盤として構築され、その基盤上に様々な新しいビジネスが生まれ、さらに豊かで快適な社会が実現されることを目指し、引き続き OpenFlow/SDN を普及発展させたいと考えている。

## 2.4 高電圧動作・高効率窒化ガリウムトランジスタ(GaN HEMT)(住友電気工業)(2013 年度文部科学大臣賞)

本案件によるイノベーションは、「小型・低消費電力な携帯電話基地局の実現に向けた「高電圧動作・高効率窒化ガリウムトランジスタ(GaN HEMT)」の立ち上げ」で、ユニークな特性を有するものの製造技術面やコスト面などから必ずしも普及していない化合物半導体技術領域で高速モバイル通信のアプリケーションを開拓し、イノベーションを起こしたものである。

### 2.4.1 概要

携帯電話の急激な普及、動画配信などのコンテンツの発展により、高速通信を可能とする高性能な 3G(Generation)/LTE(Long Term Evolution)方式の普及とそれに対応した携帯電話基地局が 2004 年頃より望まれていた。

当時は、建物の中に基地局装置を設置し、アンテナを鉄塔に置く局舎型が一般的であり、設置コスト・消費電力に課題があった。設置コスト低減のため、基地局をアンテナ近くに置く方式が提案されたが、高所設置の安全性を考慮すると、20Kg、20L 以下の小型化装置を実現することが求められ開発

の目標となっていた。基地局電力消費量の75%は送信増幅器であり、小型、高性能化を実現するためには、使用するトランジスタの高効率化がキーであり、従来技術のシリコントランジスタでは小型化装置の実現は困難と推定し、ブレークスルーが必要であると考えられた。

上記の状況より、小型、高性能基地局を実現するためには、新規技術(新材料の導入)による高効率な電力増幅トランジスタが必要と判断され、製品開発を行ったものである。

技術シーズは以下にあった。

- ・化合物半導体異種接合の高電子移動度トランジスタ(HEMT)技術
- ・高品質な窒化ガリウム薄膜結晶成長技術
- ・ガリウム砒素トランジスタで築いた微細電極、保護膜形成技術
- ・高効率整合回路技術
- ・衛星搭載用デバイスなど高品質管理技術と量産技術

窒化ガリウムの物性に着目し、従来技術を適用させ、世界に先駆けて高品質な高性能トランジスタの量産化に成功したものである。

本技術シーズは、2000年頃より、富士通カンタムデバイス(株)と(株)富士通研究所とが窒化ガリウムの物性に着目し、材料開発、トランジスタへの応用を目的とした共同研究を開始したところにあった。

2004年、富士通(株)(富士通カンタムデバイス(株)の親会社)と住友電気工業(株)の合弁会社としてユーディナデバイス(株)が設立され、本件の対象となる技術を継承した。

2009年に至り、住友電気工業(株)がユーディナデバイス(株)の全株式を取得(富士通持分を買い取り)し、住友電工デバイス・イノベーション(株)に社名変更、対象領域での技術開発および技術を基盤とした事業展開を継承している。

その意味から、技術開発着手時期は2000年4月ということになる。

#### 【市場化時期】

第1世代製品は、2006年11月 製品出荷開始(世界初といえる)。

最新(第3)世代製品は、2012年11月 製品出荷を開始した。

### 2.4.2 事業化までの困難性・市場の状況

#### (1) 事業化までの困難性

窒化ガリウム半導体の研究開発には多くの企業が競いしのぎを削っていた。以下のような技術面での困難があり多くは事業化に至っていないのが現在の状況である。

- ・使用する炭化ケイ素(SiC)基板の確保と品質向上

- ・高電圧動作可能なトランジスタ構造の開発
- ・高電圧化(50V)への顧客不安の払拭
- ・高速化を可能とするデジタル歪み補償技術との融合
- ・市場是認価格への挑戦

それら困難の克服策として、住友電工グループは以下の方法にトライし、世界初の実用化を成し遂げたものである。

- ・米国の基板ベンダとの継続的技術折衝と弊社独自のスクリーニング技術開発
- ・量産安定な結晶成長技術と微細電極形成技術の開発
- ・電源メーカーとのコラボによる 50V 電源の事前準備および技術ロードマップ公開による継続的特性改善のコミット
- ・波形歪み是正のためのデジタル歪み補償器との親和性を考慮したトランジスタ設計
- ・主流であったシリコントランジスタとほぼ同等となるコスト実現のため、基板口径の増大(4 インチ化)と徹底した小型回路設計

このプロセスにおいては、富士通、NEC、PMC など、製品仕様確立で基地局装置メーカーと連携しオープン・コラボレーションが行われている。

研究開発資金はすべて自己負担であった。



図 2-8 携帯基地局用、高効率高出カトランジスタ

## (2) 市場の状況

現在の市場規模(うち本イノベーションによるもの)は、2012 年携帯電話基地局用デバイス市場: \$800M(内、窒化ガリウムトランジスタ市場: \$120M)。

調査会社の調査結果では、弊社推定シェアは 41% とトップである。

量産製造技術担当部門としては、住友電工デバイス・イノベーション(株)に製造技術部門を置き、製造工場は、国内には自社および関係会社、海外ではベトナムに保有し、安定供給と事業継続計画

(Business Continuity Planning, BCP)に対応しようとしている。

マーケティング担当部門は、住友電気工業(株)に国内外のマーケティングおよび営業部隊を置き、事業母体である住友電工デバイス・イノベーション(株)にマーケット情報の統合部門を置く。これにより、マーケティングと事業化の速度を高めている。

本開発においては、顧客視点に立ち、顧客メリット(小型化、低消費電力、設置性)および環境への好影響を実現すべく開発インプットを続けた。また、前述した電源メーカー、デジタル歪み補償器メーカーとのコラボを実現し、新しいソリューション・ビジネスモデルを構築した。

関連設備投資規模・雇用規模は以下の通り。

- ・年間の設備投資は約 10 億円。
- ・関連従業員数:約 500 人

### (3) イノベーションが生み出した変化

#### ・製品(プロダクト)の変化

従来のシリコントランジスタから窒化ガリウムトランジスタへと変化した。

また、基地局も従来の約 30Kg、30L 程度の重量・容量から 15Kg、15L と 1/2 の小型化を実現。その結果、従来の局舎型からアンテナ近傍へ置く RRH(Remoto Radio Head)型へと変化した。この小型、軽量化により、鉄塔、マンションなど高所への基地局設置作業を安全に、かつ安価に実施することができ、LTE 基地局の急速な展開、地域 LTE カバー率の向上に大きく貢献することとなった。

#### ・顧客の変化

シリコントランジスタから窒化ガリウムトランジスタへ積極採用が進んだ。さらには、懸念となっていた電源電圧などを変えてでも更なる高性能化への要求が大きくなった。

#### ・生産方式の変化

従来の歪み補償技術はアナログ的に行われ、基地局生産時の直行率(工場での検査時にパスする率)や手番(生産工程での工程プロセス数)を悪化させていた。窒化ガリウムトランジスタの実現で、前述したデジタル歪み補償技術の適用が加速され、生産能率を向上させることができた。

#### ・供給源・調達の変化

SiC 基板ベンダが新たな調達先として重要となるといった供給源の変化が生じた。

#### ・ビジネスモデルの変化

本件開発により LTE 基地局の設置が進展したことで、スマートフォン、タブレット PC の普及が急激に進んでいる。その結果、インターネットを使用した新しいサービス、新しいビジネスモデルによる事業が急速に展開することとなっている。

- ・組織の変化

早期のイノベーション実現に向け、顧客要求をすばやく開発に反映させる組織を構築する、といった社内組織に変革が生じた。

- ・低消費電力化にともなう効果の推定

携帯電話基地局 10 万局(おおよそ日本の基地局数)を 1 年間稼働させた場合、下記のような省エネ効果が推定される。

電力削減量: 2 万kW

原子力発電所発電量の 2 %に相当する。

- ・その他の変化(特筆事項・補足)

本開発技術は、携帯電話基地局以外に下記の市場で採用、採用予定となっている。

- ・地デジ化にともなうスカイツリー放送局
- ・各空港の航空機管制レーダー、防衛省監視レーダー
- ・ゲリラ豪雨監視レーダー
- ・衛星搭載通信機

#### (4) 成功要因として考えられること・今後のビジョン

以下のような点がイノベーション成功の要因として考えられる。

- ・窒化ガリウムの物性に着目し、早期に材料開発に着手(2000 年)、商品化を目標に集中した開発体制を設けたこと(2004 年)。

- ・米国などでは、軍事産業目的での開発を進めていた企業が多かったが、当社では、市場を携帯電話基地局に設定することにより目標を明確化した。また、本技術が適用された場合の新規周辺技術を洗い出し、周辺環境の整備のための他社とのコラボレーションを進めた。

- ・顧客への提案にあたっては、自社の仕様をアピールするのではなく、直接の顧客、その次の顧客のメリットを示すとともに、環境影響度までも含めたトータルソリューションに徹するよう努めた。また、広く業界に情報展開するために、国際学会などでの論文発表と同時に併設する展示会での展示(移動展示)を実施した(ソリューション戦略)。

- ・特性優位だけではなく、市場是認価格を意識し、開発開始当初より低コスト化設計を徹底させた(コスト戦略)。

- ・継続的な開発、製品化を示すロードマップを公開し、その価値が継続、向上していくことを示し続けた(ロードマップ戦略)。

今後の展開としては、小型化、低消費電力を必要とする装置(管制、気象レーダ、放送)への適用を図る、また、更なる特性改善のため、最適物性をもつ化合物半導体トランジスタ開発をめざすこととしている。

## 2.5 機能性インナーウェアの開発(ヒートテック®)(ファーストリテイリング、東レ)(2013 年度経済産業大臣賞)

本イノベーションは、いわゆるヒートテック®の開発で、保温吸湿速乾性をあわせ持つ斬新な機能性衣料を販売企業と製造企業とのオープン・コラボレーションによって実現、ヒット商品を生んだものである。

### 2.5.1 概要・動機

SPA(speciality store retailer of private label apparel、日本では「製造小売業」と訳されている)ビジネスモデルを志向するユニクロ(㈱ファーストリテイリング)と繊維材料メーカーである東レが2000年頃から提携し新機能を持つ衣料品の開発を進めている。ヒートテック®はその提携の中から生まれ、大きな売り上げを達成したものである。

機能面では保温・吸湿・速乾など以下に記されている10の機能をあわせ持つ革新的な特徴がある。それらの複合機能を実現するために、以前はほとんどされていなかった、あるいは不可能と考えられていた異種繊維の組み合わせや新たな素材の開発が行われた。

また、このような取り組みは、旧態商慣習が多々残っている日本の繊維産業が取り組むべき「①サプライチェーンの効率化」、「②新商品開発の促進」、「③グローバル市場での拡大」という課題を解決していくものであり、今後繊維産業がグローバル競争に勝ち抜いていくための一つの指針となることをも目標として考えられてきた。

「着用時に暖かいという機能性を発揮しながら、生地が薄く着ぶくれしない、また重ね着の一つのアイテムとしても使用可能というファッション性も兼ね備えた高機能インナーウェアはこれまでになく、市場性が大きい。」と考えられ、ユニクロ・東レの戦略的パートナーシップから開発に着手がなされた。これが、高機能・高付加価値インナーウェア「ヒートテック®」の開発と市場化である。

技術シーズ、研究開発要素としては、

- ・吸汗速乾性を発揮する特殊断面ポリエステル繊維の開発
- ・染色性を良好にするための新規ポリマー開発
- ・保温性を発揮するためのマイクロアクリル原綿開発
- ・ポリエステル、アクリル、レーヨン、ポリウレタンという4種の異なる繊維を組み合わせる編成技術

開発

・さらにそれを色むらなく染め上げる染色技術開発

などがあり、いずれも困難性が大きかった。これらの課題解決は販売側ユニクロからの要望と技術側東レとの協力によって進められた。

着手時期は、2000年頃で、市場化時期は2003年。その後、2006年に至って両社の戦略的パートナーシップが結ばれ(その後も更新)、商品としての進化は拡大した。

## 2.5.2 事業化までの困難性・市場の状況

発熱、保温、保湿、吸汗速乾など10の機能を併せ持つ機能性インナーウェアの開発ということで、「これまでになかったインナーウェア」というコンセプトの具現化に大きな困難があった。

例示すると、

- ・生地が薄くファッション性が高いことと基本機能である発熱保温性という機能性の両立。
- ・異なるポリマーの組み合わせによる染色性、再現性の確保。
- ・安定して高品質な商品を大量に生産するためのサプライチェーンの構築と管理。

といったような課題であった。

それら困難の克服は、理想とする商品を生み出すため、求める機能をすべて発揮させるための素材の組み合わせ、混率を検証することで進められていった。単に機能性が高いだけでなく、風合いや肌触りにもこだわり、様々な素材の組み合わせで試作は優に1万点を超えた。

4種の異なる染色性の繊維を組み合わせながら、色むらなく染め上げ、さらに量産品として大量に生産する技術開発にも大きな困難があった。

それまでの常識からは桁違いの量のオーダーに答えるための原糸・原綿から編み立て、縫製まで一貫で行う生産管理、量産体制の構築がはかられた。

市場の状況については、2012年「ヒートテック<sup>®</sup>」販売数約1億枚(数千億円規模)である。

量産製造技術については、原糸・原綿から編み立て、縫製までを一貫して管理するグローバルオペレーション体制の構築がなされた。

マーケティング担当部門はユニクロで、その商品企画力、販売展開力(広告宣伝も含む)により販売拡大に大きく寄与することとなった。

### 2.5.3 成功要因・今後のビジョン

成功要因として、製造業と小売業という異なる業態の企業同士が戦略的パートナーシップを締結し、バーチャルカンパニーとして理想の商品作りに取り組んだ点が挙げられる。製造業と小売の取り組み自体は珍しいことではないが、トップどうしによるもので大きな目標に向けて連携が行われたことが特筆される。

繊維産業の特色である長く複雑なサプライチェーン(原材料から糸、染色、縫製、デザイン、卸、小売など多数の工程を経る。)の抜本的な構造改革が目指された。サプライチェーンが長いことから販売面で独特の慣行があり、変革が起こりにくい特性があった。GAP 社が打ち出した SPA ビジネスモデルはそれに対するチャレンジであった。この SPA に、両社が得意分野(ユニクロのマーケティング、商品企画、販売力と東レの技術開発力)を持ち寄って臨んだ点も特徴といえるであろう。

今後は「ヒートテック<sup>®</sup>」のさらなるグローバル拡大を進めるとともに、戦略的パートナーシップについては更なる新商品の開発に取り組んでいくビジョンが形成されている。



図 2-9 ヒートテック<sup>®</sup>

## 2.6 URUP(Ultra Rapid Under Pass)工法(大林組)(2013 年度会長賞)

本イノベーションは土木分野での工法で、短納期、好環境な立体交差における地下掘削工法を開発、実現したものである。

### 2.6.1 概要

都市部の多くの交差点や踏切では慢性的に渋滞が発生しており、通行車両の排気ガスにより、周辺の生活環境に悪影響を及ぼしている。このような交差点では、アンダーパスによる立体交差化が効果的であるが、従来の開削工法では、長期間にわたる工事騒音・振動や二次渋滞の発生など、事業の目的に相反して周辺の生活環境や交通事情を悪化させているのが現状である。

1つの解決策として、交差点部をトンネル構築技術である函体推進工法やシールド工法などの非開削工法で行う方法がある。これらの方法は、交差点の両側に立坑と呼ばれる縦穴を構築し、縦穴間をつなげてトンネルを構築する技術である。そのため、アンダーパス工事に適用しても、立坑や斜路部は開削工法で施工する必要があり、問題を解決できない。

そこで、斜路部を含むアンダーパス全区間を連続で施工する「立坑のいないシールド工法を開発できないか」という発想のもと、短期間でアンダーパスを構築し、さらには工事中の騒音・振動や二次渋滞を最小限に抑制することができる技術として、シールド工法を発展させた、地上発進・地上到達するシールド、「URUP 工法」を開発した。

## 2.6.2 研究開発の動機・事業化までの経緯

技術シーズとしては、大林組がそれまでに保有していた豊富なシールド技術を結集し、工法の開発を行った。それらは、以下のような技術であった。

- ・シールド機による大断面掘削技術
- ・掘削地盤(切羽)の安定化技術
- ・さまざまな寸法、形状に対応できる覆工技術

着手時期は、2003年4月で、市場化時期は2008年6月、中央環状品川線大井地区トンネル工事に採用されたことが第1号である。

事業化までの困難性としては、シールド工法は確立された技術であるため、地上発進・地上到達といった工法の成立性は机上で検証することができた。しかし、官公庁などの事業者は工法への関心を示すものの、実現性には懐疑的であり、工事への採用には至らなかった。

そこで、工法の成立性を確認するため、技術研究所内で実証実験工事を行った。高さ 2.15m、幅 4.8m のシールド機を用い、斜路部を含む長さ約 100m のトンネルを構築した。シールド機には、地盤変状抑制技術(側部カッター、マトリックスシールド)を搭載することで、地上発進・到達を成立させるカギであった地盤変状を抑制し、工法の成立性を確認した。

さらには、民間により開発された新技術の内容を学識経験者等により技術審査・証明する建設技術審査証明を国土技術研究センターにおいて取得することで、URUP 工法が実用化へと進んだ。

外部との連携の有無については、トンネルを掘削するシールド機やトンネル部材であるセグメントの製作において、メーカーと連携し URUP 工法に必要な技術を開発した。

開発資金については、社内の研究開発費により行い、外部資金は無い。

産学連携については、URUP 工法の最初の適用工事となった中央環状品川線大井地区トンネル工事では、地盤変状やシールド機の姿勢制御などのリスクに対する妥当性の検証や対策を確立する

にあたって、トンネル工学・地盤工学の専門家である西村教授(首都大学東京大学院都市環境科学研究科)、シールド機の制御や挙動の予測・解析の研究者である杉本教授(長岡技術科学大学工学部)に知見やご指導を仰ぎ、連携して実工事における課題を解決した。

### 2.6.3 市場の状況

現在の市場規模について、踏切での立体交差化事業を例にとり国内トータルでの市場規模を試算してみる。国土交通省 HP より、緊急に対策が必要な踏切数 1,960 箇所のうち、立体交差化が必要な開かずの踏切数は約 600 箇所ある。そのうち、200 箇所を対象にした場合、1 工事当たり 50 億円とすると、市場規模は 1 兆円となる。その中で、大都市を中心として過密地域には本イノベーションに対するニーズがあると想定される。

マーケティング担当部門の成果としては、当社 CSR 室広報部によるプレス発表や営業部門の営業活動により、事業者には工法概要を広く周知するとともに、実証実験および中央環状品川線大井地区トンネル工事の公開により、工法の実現性を周知でき、道路トンネルである「さがみ縦貫川尻トンネル工事」、「谷津船橋インターチェンジ工事」やガス導管工事である「田原第 2 幹線三河湾シールド土木工事」の受注に至った。

雇用については、シールド機製作およびセグメント製作などメーカーの工場における雇用、トンネル掘削従事者など現場作業にかかわる雇用の創出が期待できる。例えば、中央環状品川線大井地区トンネル工事では、現場作業従事者数は延べ 12 万人であった。

本イノベーションは、周辺的生活環境、交通事情への影響が少ないことや工期が短く、早期供用が可能であることなど、工事を発注する事業者にとってのメリットが大きいことや、事業を進める上での住民説明においても理解を得やすい施工方法であるため将来とも発展が期待できると考えられる。

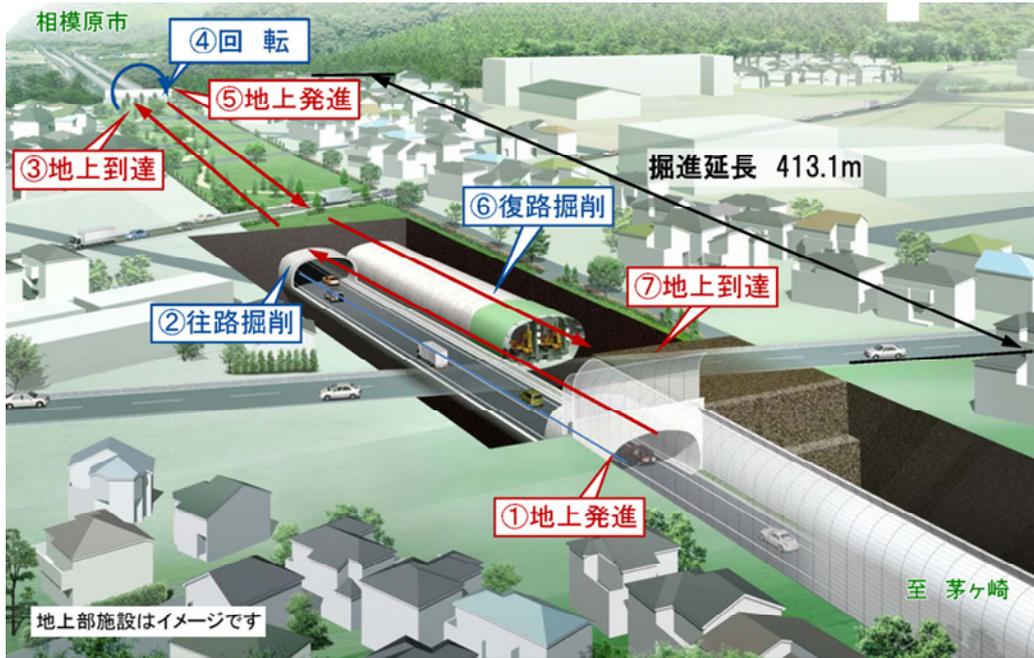


図 2-10 さがみ縦貫川尻トンネル工事における URUP 工法  
(出所:大林組)

## 2.7 長期冷蔵保存技術による生鮮品の新たなコールドチェーン物流インフラ(Mars Company) (2013 年度会長賞)

本イノベーションは物流における革新を目指して、生鮮状態で長期保存を可能としたコールドチェーン物流システムを形成しようとするものである。

### 2.7.1 概要

既存のコールドチェーンにおける生鮮品の物流においては、鮮度劣化によりライフサイクルが短い膨大な量の食材が廃棄されているのが現状である。また、水産品においては特に劣化が早く付加価値の高い刺身用鮮魚に関しては輸送距離が限られ、海外を含む遠方へは出荷できず冷凍魚として安価に流通しているのが現状である。

今後、我が国の農水産品及び加工品の需要拡大、高付加価値化及び廃棄ロスの低減を図るためには、生鮮品の長期高鮮度維持を可能とする新たなコールドチェーンの構築が不可欠である。

本イノベーションは、これらの問題点を解決すべく、独自に研究開発を行って来た技術シーズを組み合わせた。農水産品、加工品等の食材を高鮮度に維持したまま年間を通じた安定供給の実現、商品の高付加価値化、加えて物流コストの低減を通じて、生産者から消費者までメリットを及ぼす事が可

能な高度な生産流通システムの構築をその動機とした。

以下の技術が本イノベーションを支えている。

- ・高鮮度保持、菌抑制、高品質解凍、熟成機能搭載冷蔵システム「KuraBan」
- ・鮮魚輸送用海水氷製氷装置「sea snow」
- ・「KuraBan」及び「sea snow」を組み合わせた新たな生鮮品コールドチェーン物流スキーム「蔵番熟鮮市場」
- ・「KuraBan」機能を搭載した輸送用「KuraBanトラック」、「KuraBan 海上コンテナ」
- ・冷蔵庫内温度均一化温度制御システム「TRiMax」

着手時期は 2009 年、市場化時期は 2013 年。

## 2.7.2 事業化までの困難性

Mars Company 社は、典型的なベンチャー企業であり、鮮度保持に関する各専門分野の技術者が集まって研究開発をスタートした。技術的には効果の再現性及び安全性が担保された高度な商品開発はできたものの営業部門を持たないため認知されるまでの期間が長く、資金調達や新たな人材確保がままならない状況が続き事業化までに非常に困難を強いられた。

製品を作ったものの思うように販売に結びつかなかったため、一時営業活動を中止し、「食材に装置を合わせる」という従来とは逆の発想からの開発に特化した。その結果ユーザーが抱える問題点を解決することに成功した。その後、徐々に口コミ、紹介等で認知度が高まり新聞、テレビ放映等のメディアでも取り上げられるようになり、特にテレビ放映後問い合わせが殺到し製品の売上也延びて来た。

また、装置の機能を示すために、自ら新たな生鮮品コールドチェーン「蔵番熟鮮市場」を運営することでユーザーに直接、製品をアピールしユーザーの理解を得られた。このことにより、「営業活動を行わなくとも必然的に製品需要が高まる仕組み」を構築できた。

さらに、大手総合商社及び大手物流会社と連携するこよができ、資金調達及び人材確保への道が開かれた。

構成技術中、電場発生電源の小型化については外部との連携により進めた。

外部資金の有無については、平成 25 年 11 月に資本提携予定である。

### 【市場の状況】

今年度は需要としては 20 億円を超える。しかしながら、それらをこなせる人材の確保ができていないため 5 億円と予想している。

### 【量産製造技術担当部門】

同社は戦略的には、研究開発に特化し量産においては基本的にファブレスとし、主要部品は国内で OEM 生産、冷蔵庫本体に関しては韓国の冷蔵庫メーカーと提携し OEM 生産を行いユーザーニーズにマッチしたコストダウンを図り拡販につなげた。（「KuraBan」廉価版「KuraBan Lite」）

#### 【マーケティング担当部門】

営業部門は置いておらず、特に積極的なマーケティング活動は行っていないが、テレビ放映後ホームページからの問い合わせが殺到している。

「蔵番熟鮮市場」の運営によって、実際の機器、新たな産直物流で仕入れ・販売している高鮮度な食材を来社された方へ触れていただく事により機能を理解、納得していただき、必然的に拡販につながっている。

#### 【関連設備投資規模・雇用規模】

研究開発に特化した事業展開を行っているため、大きな関連設備投資は行っていないが、群馬県立産業技術センターの解放研究室への入居が決定し、新たに研究開発室を設立した。それに伴って現在新たに数名の研究開発要員と事務・経理職員を募集中である。

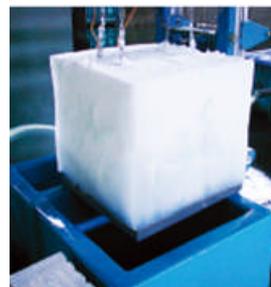
#### 【成功要因として考えられること・今後のビジョン】

本技術シーズが、食材の流通に係るものであり特に今まで不可能であった生鮮品のライフサイクルをコントロールし、海外への販路拡大やロス率の低減というユーザーのニーズ及び国の方針にマッチしている事が大きな成功要因であると考えます。

今後のビジョンとしては、生産者、流通業者、小売り店舗、飲食業者、一般家庭用にそれぞれの装置・製品開発を行い、入り口から出口までの流通インフラを構築する事で日本国内に限らず全世界の生鮮物流の新たなコールドチェーンを具現化し、生産者及び消費者までにメリットを与え、来る食料難に立ち向かい地球の裏側の将来のある子供達に安全な食料を届けること目標としている。



KuraBan



sea snow

図 2-11

新たなコールドチェーン物流技術シーズ

## 2.8 世界 No.1 精度の顔認証技術を応用した安心・安全な社会の実現(NEC)(2014 年度文部科学大臣賞)

情報領域でのイノベーションで、世界最高水準の顔による個人認証技術を実現したものである。

### 2.8.1 概要

NEC は高精度の顔認証技術の開発に成功し、犯罪者検索等の国家セキュリティから、店舗や施設での本人確認、モバイル機器等の個人認証まで幅広く利用され、安心安全と利便性を両立する社会の実現に貢献している。顔認証は人間が日常的に行う自然な本人確認手段であるが、従来のパターン認識による顔認証は、照明の違いや顔の経年変化により、十分な精度を出せなかった。人間の脳の働きを模したモデルの採用が技術ブレークスルーとなり、認証エラーを大幅に低減できた。世界で最も権威がある米国標準技術研究所主催のベンチマークテストで、競合と比べて 1/10 以下のエラー率を達成し、関係者を驚嘆させる性能を示した。認証に関わる技術とノウハウを結集した顔認証製品「NeoFace®」は、確認する側の照合の手間と誤りを減らし、対象者の本人証明の負担を軽減、瞬時に正確な本人確認できる有効性が認められている。

顔認証は、忘れる・無くす・盗まれる心配が無く、パスワードの概念を変える本人確認手段である。今後、様々な場面での利用が見込まれ、「NeoFace®」は社会の安心安全・効率化を実現するツールとして普及を目指す。

#### (1) 研究開発の動機

NEC における顔認証の研究開発は、指紋認証に続く生体認証として、1989 年より開始された。2001 年に勃発した米国同時多発テロ以降、顔認証のニーズの高まりに伴い、研究開発は大きく加速した。国際的な組織犯罪は、情報のグローバル化や人口の流動に伴い、年々その状況は複雑化している。さらに、先進国や新興国を問わず日常的に様々な犯罪や事件が発生しており、軽微な犯罪であってもその件数は少なくなく、社会に大きなダメージを与え続けている。安全安心な社会の実現は人類全体の共通の願望であり、犯罪者を検挙するだけでなく、手配者を見つけて犯罪を未然に防ぐための技術が切望されている。

これらの問題を解決するには、簡易かつ高精度に人物を特定する技術が不可欠である。顔認証は、監視カメラ画像から犯人の顔写真を直接検索できる点で犯罪捜査において有効性が高く、我々の生活においても人手で本人確認しているあらゆる場面で利用できる利用範囲が広い技術である。しかし、人間が他人を見間違えるように、機械による顔認証においても状況が変化した場合に誤認証が発生し、認証精度の向上が実用面における課題になっていた。このような状況を踏まえ、様々な環境でも

高精度に認証可能な顔認証技術の実用化が研究開発の動機となった。

## (2) 着手時期・技術シーズ

NEC では顔認証技術の開発に 1989 年から取り組み、2000 年より製品化に着手し、2002 年に顔検出・顔照合ソフトウェア開発キット「NeoFace®」を製品化した。

顔認証のアルゴリズムは、社内で蓄積された技術を元に開発された。NEC でこれまで培ってきたパターン認識技術に加え、人間の脳の働きをモデルとした手法を統合したことが、技術ブレークスルーとなり、顔認証の精度を飛躍的に高めることに成功した。さらに、撮影環境の変化や顔の経年変化など、顔認証特有の問題に対処するために、アルゴリズムの改良を積み重ね、様々な撮影条件の変化に頑強なアルゴリズムを開発した。顔認証精度は自社で採取したデータを用いて評価する 경우가多いが、NEC ではアルゴリズムの有効性を第三者機関に客観的に評価してもらうために、世界的な権威を有する米国標準技術研究所が主催するベンチマークテストに 2009 年より参加している。

米国標準技術研究所(NIST)のベンチマークは、同研究所で公開した仕様をもとに、各参加者が開発した顔認証ソフトウェアを送付、同所で評価した結果を返却するという極めて厳正で、公平性が高く、業界内の信頼度が高い技術評価プログラムである。トップベンダが参加する中、NEC は他参加組織と比べてエラー率が 1/10 以下という圧倒的な性能を示した (図 2-12)。さらに、NEC では 2009 年以降に実施されたすべての評価プログラムに参加し、2009 年、2010 年、2013 年と 3 回連続トップの成績を収め、2013 年の評価では、「監視向けの低解像度画像における評価」や、「100 万件規模の大規模検索における評価」においてもトップとなり、業界内での評価はゆるぎないものになっている。

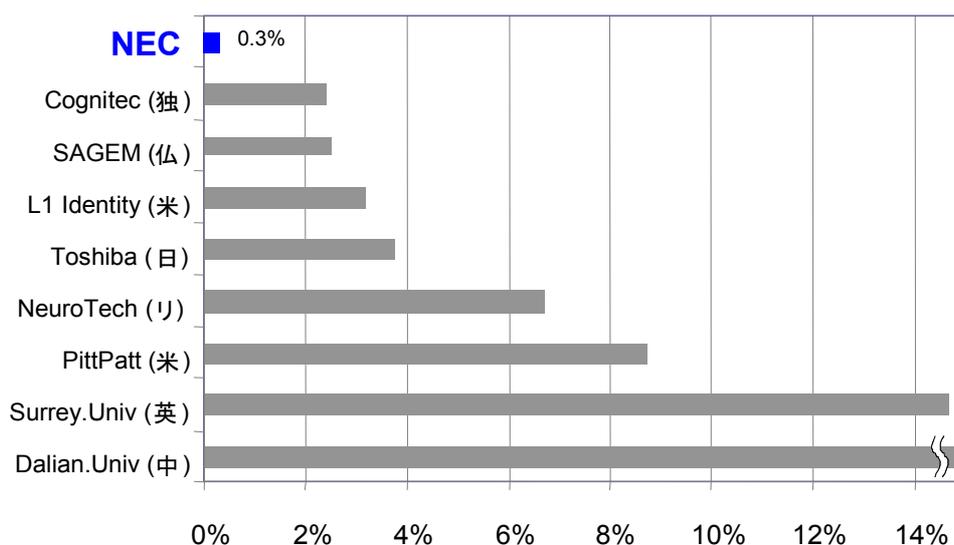


図 2-12 米国標準技術研究所による顔認証エラー率(2010 年)

外部との連携については、顔認証技術ではアルゴリズムがコア技術であり、他社との差異化要因になるため NEC 自社内開発を行っている。

しかし、第三者による公平な性能評価を得て、アルゴリズムの性能改善に役立てるために、生体認証分野の権威である米ミシガン州立大学 Anil Jain 教授に NEC の開発したアルゴリズムを提供した。米ミシガン州立大学が一般公開した評価レポート[参考文献 2]によると、ボストンマラソン爆破事件では、公開された犯人の顔写真を用いて、ミシガン州立大学で保有する 100 万件のデータベースと比較したところ、世界トップベンダ 3 社で、NEC が唯一 1 位に犯人を特定できたことが示された。この結果を契機に、複数の米国州警察で、NEC の顔認証技術が採用されることになった。

国内では、経済産業省“21 世紀ロボットチャレンジプログラム”に基づく新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)による次世代ロボット実用化プロジェクトの実用システム化推進事業「チャイルドケアロボット」に参画した。子供の顔を認証するために利用され、愛知万博の実証実験に活用された。

2002 年より、顔検出・顔照合ソフトウェア開発キット「NeoFace®」を製品化し、バージョンアップを続けている。米国標準技術研究所のベンチマークテストでトップを獲得したことにより、2010 年に発売開始した NeoFace ver3 より事業が急速に拡大し、出入国管理、犯罪者検索、監視システムなど、現在まで世界 20 か国で採用されている。

事業実績(※セキュリティ案件のため顧客を公表できない案件多数、以下は公表済み案件)

○海外

- ・米国ペンシルバニア州司法ネットワーク
- ・香港 「出入国ゲート管理システム」
- ・チリ「国境管理ソリューション」
- ・アルゼンチン「ティグレ市 街頭監視システム」
- ・イギリス「レスターシャー州警察(実証実験中)」 他

○国内

- ・ユニバーサル・スタジオ・ジャパン® 「顔認証:ゲートシステム」
- ・東日本大震災被災者支援 セーブ・ザ・メモリー・プロジェクト
- ・住友信託銀行 外勤支援システム
- ・たちばな台病院 顔認証再来受付システム
- ・クラウド連携型ロボットプラットフォーム「Papero」 他

## 2.8.2 イノベーションによる変化

### (1) 製品の変化

2002年に製品化した当初は、顧客の要望する認証精度が得られず、製品導入が進まなかった。しかし、その後認証精度の高精度化に成功し、2010年に米国国立標準技術研究所の顔認証ベンチマークテストで他社の1/10以下のエラー率を達成した。その結果、製品に対する国際的な知名度と信頼性が急速に高まり、全世界から数百件レベルで事業化の要望が殺到、事業の急速な拡大に寄与した。さらに、モバイル決済などこれまでは他の認証方式が採用されてきた案件でも、顔認証の精度向上により、利便性を求めて導入要請があり、新市場の開拓の可能性がある。

### (2) 顧客の変化

製品化当初は、撮影場所でのカメラの設置角度や照明条件など現場チューニングが多く、高コストであることから、警察や出入国管理システムなど政府系の特定案件に限定されていた。しかし、認証精度が向上するにつれて、現場チューニング作業が減り、導入コストも低くなり、民間利用が増えた。例えば、アミューズメントパークへの入場、コンサートでのチケット販売(転売防止)、病院での再来受付システムなど、様々な顧客への導入が始まっている。利便性と精度を兼ね備えた顔認証システムは、今後さらに顧客範囲が広がることが期待できる。

### (3) 生産方式の変化

顔認証システムは、研究所で開発したコア技術を事業部門が製品化し、事業部門や現地法人でカメラ接続や状況に合わせてチューニングするシステム・インテグレーションが行われる。様々な環境における認証精度が大幅に向上したことにより、撮影場所でのカメラの設置角度や照明などの条件が大幅に緩和され、厳密なチューニングを行わなくても顧客の性能要求を満たすことが可能になった。システム・インテグレーションの作業コストが大幅に低減でき、開発が迅速に進むようになった。

### (4) ビジネスモデルの変化

システム販売のようなシステム・インテグレーション事業だけでなく、モバイル決済などで利用料金を徴収する課金方式も検討しており、ビジネスモデルが変化しつつある。

### (5) 組織の変化

国内事業部が顔認証製品を販売していたが、世界各国の顧客の要望に応えるために、2013年度よりシンガポールを中心拠点にグローバルセキュリティ事業部が新設された。顔認証技術を含めたセキュリティ製品を NEC 全体でグローバル展開する体制が構築され、顔認証製品の開発・販売拠点は、米国、英国、香港、インド、シンガポール、アルゼンチンなどに拡大している。

## 2.8.3 事業化・アウトカム

### (1) 事業化まで

顔認証については、実用化されれば様々な用途に使えるという構想は研究開発当初からあったが、認証精度において「実現できる技術レベル」と「顧客の要求レベル」のギャップが大きく、研究開発当初から現在までに約 25 年要した。「顧客の要求レベル」は、カメラの設置位置や照明条件など任意の状況で撮影された顔に対して認証でき、経年変化や表情変化など様々な変動要因に頑強な方式であった。しかし、研究を始めた当初は、「実現できる技術レベル」は、パスポートのような正面顔限定で、経年変化についても 1-2 年でさえも難しい状況であり、顧客の要求を満たすことは困難を極めた。

### (2) 上記困難を克服するためにとったアクション

上記ギャップを埋めるために、根本的な認証精度向上に取り組むとともに、様々な顧客要求の中から経年変化対応など重要な課題に絞込み、研究開発を行った。認証精度向上については、長年の研究の結果、人間の脳の働きをモデルとした手法を導入することにより、エラー率を大幅に低減することに成功した。顧客課題については、独自に収集した大量の画像を分析し、顔の皺による変化、眼鏡など付帯物による変化など原因をつきとめ、認証精度を向上させた。さらに、これらの成果を統合し、第三者の客観的評価を得るために、米国国立標準技術研究所のベンチマークテストに参加し、競合と比較してエラー率 1/10 という業界関係者を驚嘆させる性能を達成した。一方、個々の案件の課題については、研究者が積極的に事業現場に出向き、事業部門と協力して問題を解決するとともに、現場のノウハウを縮約し、次世代の製品のための製品改良に役立てた。

### (3) 上記困難に対して組織やマネジメントが関わった克服策

技術が「死の谷」に陥らないようにするため、NEC 関係部門と調整、効率よくグローバル展開するための製品群を整えた。顔認証をコアとしたセキュリティ製品マーケティングのために、シンガポール拠点の事業部を新設し、開発体制や現場課題を全世界で共通化、販売網の構築に尽力した。

### (4) アウトカム

2014 年の売上高はシステム開発を含めて約 50 億円。これまでの累積売上高は約 200 億円である。NEC 社内外を含めて年間約 200 名の雇用を生み出している。出入国管理や犯罪者検索などは、世界で導入が進んでおり、今後年 20%の成長を見込む。さらに、監視カメラでの顔認証については、南米など治安問題がある地域からの要望が多く、今年度よりアルゼンチン・ティグレ市において顔認証による監視システムが本格的に導入された。監視用途に関しては今後年 50%の成長率が期待できる。

### (5) 社会への影響(効果)と今後の展開・展望

顔認証は、忘れる・無くす・盗まれる心配が無く、パスワードの概念を変える本人確認手段であり、様々な場面での導入が期待できる。例えば、日本国内だけでも、出入国管理、マイナンバー制度、オ

リンピックなど国家のインフラへの導入が検討されており、本人認証の手段を変えるだけでなく、社会の安心・安全・効率化に貢献できる。また、民生利用については、タブレットで容易にシステムが構築できるようになったことにより、受験時の本人確認や迷子探し、徘徊老人捜しなど、これまで導入されていない分野での適用が期待できる。一方、負の側面としてプライバシー侵害の懸念があがっている。NECとしては、プライバシーとセキュリティのバランスについて有識者と議論を進め、法に基づきプライバシーに配慮しながら事業化を進めたいと考えている。

#### 【参考資料】

(学会発表・講演)

・Hitoshi Imaoka: 国際学会 International Joint Conference on Biometrics 2014 で基調講演 2014/10

・Hitoshi Imaoka: “NEC’s face recognition : Evaluation and Applications”, 2<sup>nd</sup> biometrics school winter edition, 2014/01

・今岡 仁: “顔認証技術と応用事例”、先端電子計測部会講演会(招待講演)2013/10

・今岡 仁: “NEC の顔認証技術と応用事例” コンピュータビジョンとイメージメディア研究発表会 2013/5

○今岡 仁・早坂 昭裕・森下 雄介・佐藤 敦・広明 敏彦、“顔認証技術とその応用”、NEC 技報 Vol.63 2010. 他

(新聞記事)

・日本経済新聞「NEC が高精度顔認識技術: 昔の写真から本人識別」2010/07/26 他

#### 【表彰】

(学術表彰)

・情報処理学会 喜安記念業績賞「高精度顔認証技術の研究開発」(2010 年) 他

(製品表彰)

・Computerworld2012 Safety & Security 部門の荣誉賞(NEC アメリカ) 他

#### 【文献】

[1] P. J. Grother, G. W. Quinn and P. J. Phillips: “Report on the Evaluation of 2D Still-Image Face Recognition Algorithms”

[2] Klontz and Jain, “A Case Study on Unconstrained Facial Recognition Using the Boston Marathon” Technical Report MSU-CSE-13-4 (2013/5/22)

## 2.9 ビジネスジェット機 HondaJet の開発(ホンダエアクラフト)(2014 年度経済産業大臣賞)

わが国初のエンジンから機体までを自社開発した小型ビジネスジェット機のイノベーションである。

### 2.9.1 はじめに～ビジネスジェット機とは

日本では馴染みが薄いですが、世界ではビジネスジェット機が急速に普及している。ビジネスジェット機とはプライベートな航空機で、所有あるいは必要な時にチャーターされて必要な時に利用される。時間や場所の拘束なく、公共航空のような制約がなく旅行や輸送ができる。公共空港での煩わしいセキュリティ・チェックからも開放され快適である。ビジネスジェット機利用のためのプリペイド・カードが販売されており、ギフトとしても使われる。もらった人はそれを使って専用機で旅行ができるというもので、距離によって 10 万ドルくらいからある。プロゴルファー、ビジネスエグゼクティブ、芸能人など多くの人、当然リッチな人々ということになるが、個人または企業でビジネスジェット機を愛用している。小型のビジネスジェット機は数人(4～8 名)乗りで、1 機 40～50 百万ドル程度、既存のメーカーとしてはセスナとかエンブラエルなどが知られている。小型ではあるが、性能はモデルによっては中・大型機と同等、また経済性や快適性も近年ぐんぐん向上し、その市場はさらに拡大が見込まれている。

ホンダは長い開発の歴史を経て、この市場に昨年(2014 年)参入することとなった。開発されたモデルの性能は、最高速度 420 kt(キロノット、778 km/h)、最高高度 43,000 ft(13,100 m、通常のエアラインの航行高度は 35,000～37,000 ft)、上昇性能は 19 分間で 41,000 ft へ、燃費は 600NM 時で従来機と比較して 17%上回る、というように中大型機をも超える優れたものである。キャビンも広く、身長 187 cm の大人が向かい合って座って脚が重ならない、専用のプライベートトイレも備えられる。すなわち性能のみならず、従来ビジネスジェット機を大幅に超える快適性をも達成した。

もともと、ホンダの創業者本田宗一郎氏は 3 次元のモビリティを実現したい、という夢を持たれていたが苦節 30 年を経てその夢が米国において実現されたことになる。

#### 【ビジネスジェット機開発の経緯】

1986 年 基礎技術研究センター発足。この時、航空機用小型ガスタービンの研究を開始。

1999 年 軽量、低燃費、低エミッションをコンセプトとする小型ターボファンエンジン(HF118)の設計に着手。

2002 年 高空試験を開始。

2003 年 北米ノースカロライナにて実験機飛行成功。

2004 年 ジェネラルエレクトリック社と航空機エンジン事業で合弁会社を設立。

2007 年 米国ノースカロライナ州に小型ジェット機の生産工場を建設することに決定。面積

19,900 m<sup>2</sup>、建設投資額 60 百万\$。

2014 年 12 月 FAA から型式検査承認(TIA)を取得。

2015 年 12 月 量産機の引き渡しを開始。

## 2.9.2 ホンダの革新技術

### (1) 主翼の上にエンジンを配置

ジェット機はその性能を発揮するため空気の抵抗を極力小さくすることが重要である。また、マッハ 0.7 を超える辺りから主翼には衝撃波が発生し抵抗が増加し始める。そのため、航空機の設計にあたっては、高マッハ数時の衝撃波を抑えて、高速時に発生する空気の圧縮性による抗力増加を小さくし、全機の抵抗を小さくすることが重要である。翼に何かを載せることは、流体の干渉抵抗を大きくし、衝撃波の発生を助長して抵抗を増加させることから、翼の上には何も置いてはならないというのがかつての航空工学の常識であった。

ところが、翼のある位置にエンジンを置くと、速度によって抗力が小さくなる、また衝撃波の発生がむしろ減るということが分かった。エンジンを胴体でなく、翼に取り付けることができれば機体設計の自由度が増し、キャビン内空間を大きく取ることができる。HondaJet では、当初からのコンセプトとして翼上にエンジンを置くことができないかを考えていた(図 2-13)。

ホンダ(藤野氏)はこの設計を深く追求し、先ずシミュレーションによって最適位置を確認することができた。その結果を風洞実験でも確認することとなり、ボーイング社の施設を借りて行った。実験を始めた初期には、作業を手伝ったボーイングの人たちがこちらを素人と小馬鹿にしている様子が見えたが、実験が進行しデータが取られて仮説が実証されていくにつれて、彼らの目の色が変わってきた。風洞実験は NASA の施設でも行い、設計構想は現実になっていったのである(図 2-14、図 2-15)。

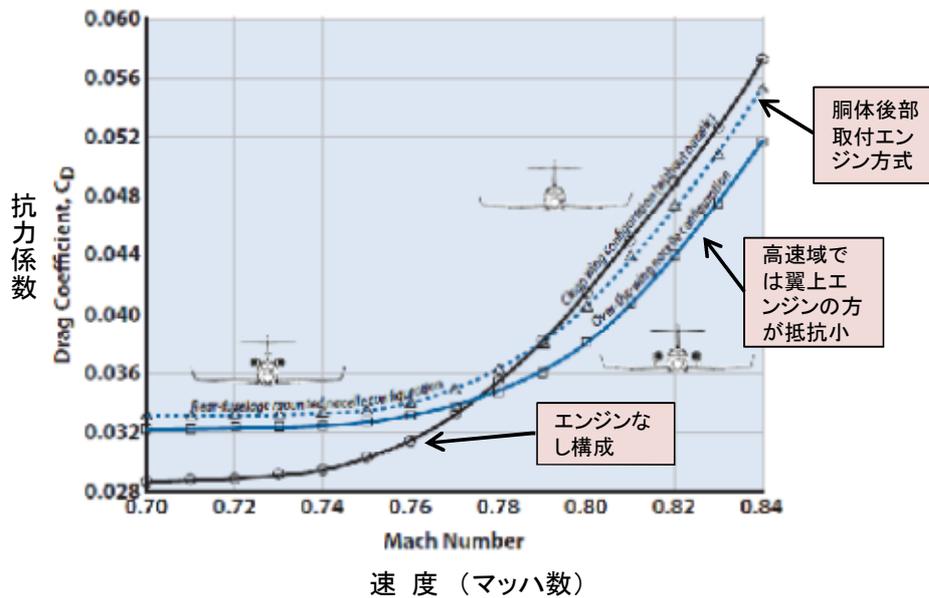
さらに、翼の上にエンジンを置くことによる迎角・揚力関係の解析(Stall Characteristics、ある迎角度域においてエンジンを置かないものより良好)、急角度時のエンジン入口歪み(Inlet-flow Distortion)評価が主として風洞実験によって行われ設計形状・長さが決められた。

一般に、構造物が振動する場合にフラッター現象の危険性がある。橋梁などでも強風時に壊れたり、戦前の零戦戦闘機が急降下時に空中分解する事故が起こったりしている。フラッターというのは、振動の周波数がある程度高い場合には本体の剛性や構造減衰によって振動は収束されるが、振動数が低かったり、あるレベル以上での条件(風の速度や空気密度、構造減衰、重量バランスなど)が重なると振動が発散し構造が破壊する現象である。エンジンを翼上に置くことによって、エンジンの重量がない場合に比べ主翼系全体の重量は約 2 倍となり、固有振動数は約 30%小さくなる。HondaJet の設計ではフラッター現象が起こりやすくなる懸念があった。そこで、理論計算と実験の両面からフラ

ッター現象についても解明がなされ、翼上エンジン形態が不利ではないような設計手法を確立した。エンジン基幹部(pylon)の振動特性が非常に重要であるということが明らかとなり、スパン方向のエンジンの配置や翼の剛性が質量分布設計に取り入れられた。

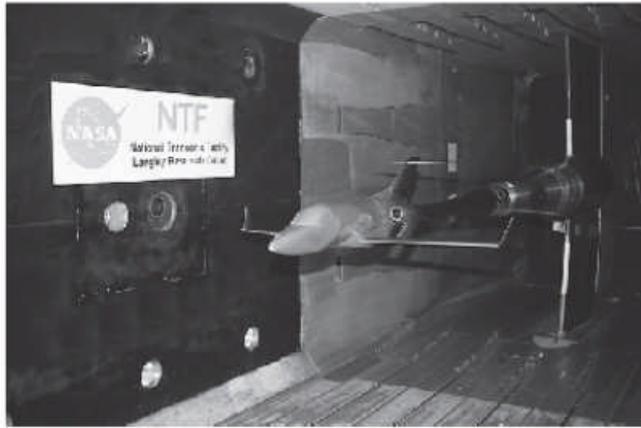


図 2-13 HondaJet オリジナルのコンセプトスケッチ(1997年頃)と側面図・正面図を対比



種々のエンジン構成での流体抗力比較

図 2-14 ナセル(エンジンの配置)構成と抗力



## NASA NTF (National Transonic Facility)での風洞実験

図 2-15 風洞試験の状況

### (2) 層流翼

性能向上のため、翼形状にも工夫がなされている。翼の断面形状は航空力学の進歩とともに変化してきている。一般の人が見ただけでは何が変わってきたのか分かりづらいかもしれないが、同じグループであっても世代が変わるとそれぞれは微妙に異なっている。

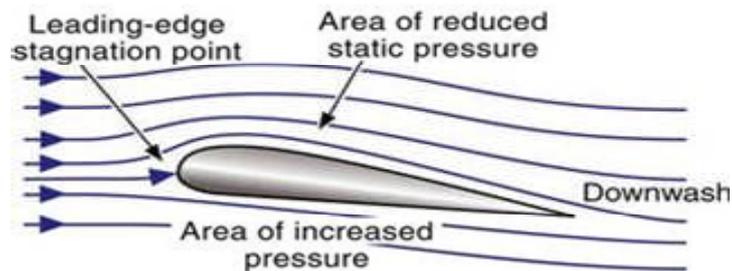
HondaJet では、自然層流翼(Natural Laminar Flow Airfoil)型が採用されている。層流翼は 1940 年代 Mustang P-51 で始めて採用された翼型で、基礎理論と NASA(当時は NACA)の研究所での実験から生まれた。これを改良し SHM-1 として今回設計・開発した。層流翼は元々低速用に開発された形状で、音速に近い高速時には衝撃波が発生しやすいなどの問題があった。空気が翼に沿って流れる場合に、層流(平行な滑らかな流れ)から乱流(渦などが発生する乱れた流れ)となり最後に翼面から剥離していくが、層流翼の翼は上面と下面で形状が異なるため層流の割合を高くするような工夫が要る。層流の割合は上面/下面で 40%~70%が多いが、HondaJet は上面 42%、下面 63%を実現した。また、上面と下面の圧力の差が揚力となる。これらでは、CAD の一種の要素解析手法が用いられた。

最大上昇、ピッチング・モーメント、抗力変化点それぞれの間の調和が最も取れている。翼の先端形状は高迎角度時、粗さによる最大揚力係数のロスをも最小化するように設計されている。上面の尾端形状は急な圧力勾配をつくりこれによって小分離を引き起こすように設計されている。この新たな尾端設計取り入れによって、高速時のピッチング・モーメントの幅が大きく低減されることとなった。

これらの設計は、風洞試験(低速時とマッハクラスの高速時)と実機(ロッキード T-33 機にてフルスケールでの飛行試験)により確認がなされ、最終的にフランスの航空局(Office National d'Etudes et de Recherches Aéropatiales (ONERA))の遷音速風洞で衝撃波が発生するところまでの試験を行い、

挙動を確認した。

翼層と気流の境界遷移を可視化するため、上記の実機試験中赤外線カメラによる撮影が行われた。これは、層流から乱流に移行する時温度変化が起こるので、それを赤外線で観察しようとするものである。この計測方法によって、T-33 航行試験で、設計通りの高最大揚力係数、良好な失速回避特性、抗力係数などが確認されたのであった。このことは、航空機の開発には設計だけでなく、周辺の試験技術とか計測技術の開発も重要である、ことを示す一例である。



飛翼周囲の静的な圧力

出所 : <http://www.pilotwings.org/airfoil-pressures.html>

図 2-16 層流翼

### (3) CFRP 胴体

HondaJet では、コンポジット・マテリアル(複合材料)を胴体に採用した。CFRP(炭素繊維強化複合材料)は今日航空機に広く用いられるようになったが、小型機においては、コストなどとの兼ね合いでどこまで採用するかは慎重に検討される必要がある。コンポジット材の採用にあたっては、高温高湿状態での強度、衝撃後の圧縮強度(CAI, Compression after Impact)、層間せん断強度(inter-laminar shear strength)など設計時に考慮しなければならない点があり、軽量化によるメリットと比較勘案されるべきである。このような設計上の制約から、胴体にコンポジット材を採用することとしたものである(翼はアルミ材)。胴体材料は、炭素繊維強化 350° F(180°C)で処理(cure)されたエポキシ・プリプレグ、Cytec 5276-1(Cytec 社は Solvay グループ、同社はベルギーを本拠とする化学メーカー、2014FY の売上高は 10,213 百万ユーロ)で、耐衝撃強度が大。強化炭素繊維は、TOHO G30-500(帝人グループの Toho Tenax America, Inc.)を採用。

図 2-17 に示すように、コックピット部とテール部は、ハネカム・サンドイッチ構造で、層流頭部にとって重要な複雑な 3D 形状を実現した。サンドイッチ構造は、このような複雑な 3 次元等高線をもつ形

状を実装することを低コストでできるという利点があった。((注)ハネカム・サンドイッチ構造:ハネカムは6角形状を敷き詰め空間を埋め尽くす構造で、そのような構造部材をサンドイッチ状にすること。)

キャビンにあたる胴体中間部には、強化パネル構造(Stiffened panel structure)を採用した。本材料は軽量で、したがってキャビン内サイズを最大にとることができる。キャビン部はジェネラル・フレームと梁(Stringers)とは同等の寸法であるので、フレームと梁用の型は最小数で済む。将来的にストレッチも可能である。開発過程では、梁用のハネカム・サンドイッチ構造複合材料の高圧(85.3 psi = 5.8 atm)での処理(cure)が課題であった。“Picture-frame stabilizing method”という新技術によりコア部のクラッシュを防ぐことができた。このような技術開発を経て、HondaJetでの胴体は複雑な3次元形状であるにもかかわらず、型で正確に成型製作できる。高パフォーマンスと製造の容易さとを兼ね備えている。

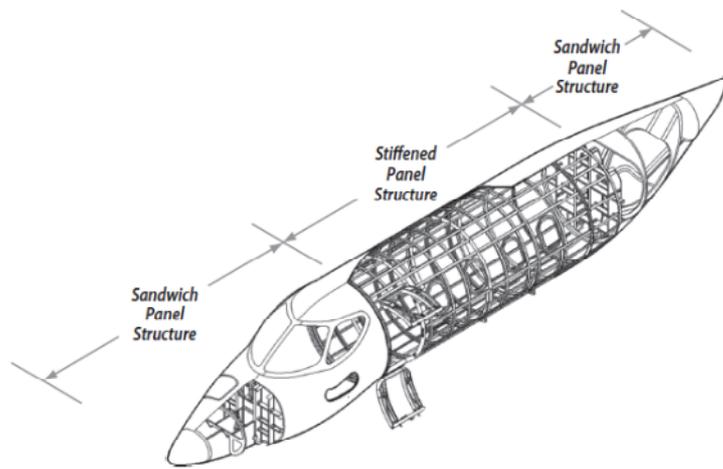


図 2-17 ジェット機胴体構造

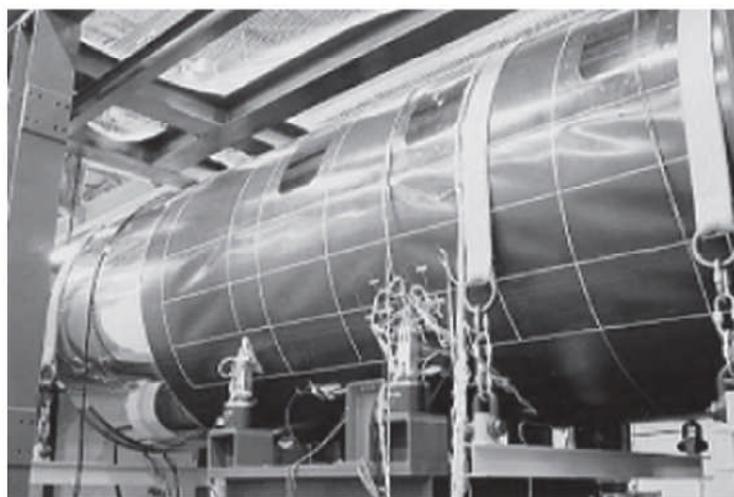


図 2-18 胴体スキン

もう一つの HondaJet 胴体複合材の特徴は、せん断座屈(Shear buckling)許容度(tolerance)設計である。これは、強化パネルに適用された。せん断座屈はある荷重以下では許容される。スキンの厚さと各構造スキン・ベイの積層(ply orientation)は、最適ストレス・レベルで設計され、軽量化にも資している(図 2-18)。

HondaJet 胴体へ複合材料を採用することで、軽量化はもちろんのこと、実装コストの低減と航空力学的に最適な外形を実現することができたと考えている。なお、複合材料は電気を通さないため、避雷には独自の工夫が要る。胴体カーボン繊維の表面に銅のメッシュを貼ることで解決している。

#### (4) 新型コックピット

コックピットは操縦する人が座り、操作をする場所であるので、いうまでもなく心臓に当たる重要な空間である。その設計では、自動車開発における経験や最先端の人間工学的知見が活用された。斬新で使いやすく安全性も高い、居住性も良い環境を実現することを目標とした。コックピットのレイアウト、機械と人間間インターフェースから座席の寸法決定、フライトのコントロールやスイッチ、視認性の評価をこのような目的に沿って行った(図 2-19)。先ずいくつかのコンセプト・スケッチが作成され、これに基づいて高精細な 3D CAD データが生成されていった。この段階で、既に座席のシート表面の材料繊維を含む美的な要素も検討に上っていた。

さらに、人間工学的視点があらゆる点において大切であるので、機器パネル・ディスプレイ反射の光線追跡分析などが行われて、まぶしさをシールドするデザインが検証、設定されたのである。

HondaJet の基本コンセプトが固められた 1990 年代、まだ小型ビジネスジェット機のコックピットや操縦システムについては十分インテグレートされておらず、伝統的な器具に依存するスタイルであった。入力もキー操作が主で、したがって、操縦の訓練においても、コマンドを覚えることにかかなりの時間が費やされた。今回の姿では、アイコンを採用し、コンピュータ・グラフィクスを取り入れ、スマートフォンを操作するようなイメージで操縦ができるモダンかつフレンドリーなインターフェースである。

#### (5) キャビン

キャビンは、飛行中人が滞在する空間である。従来は、設計上の制約から快適性は制限されていたと言える。たとえば、トイレ。機種によってはトイレがないとかカーテンで仕切られるだけ、と犠牲になっていた。HondaJet では、先に述べたように高身長の方が十分な広さで向かい合って座れるとか、トイレにも十分なスペースを割いている。機内で広い空間が取れるため十分な広さのトイレを確保し、もちろん居住部とは隔離されている。

一般にビジネスジェット機購入時には女性からの視点に基づく嗜好などが重要視されることが多い。

広く独立したトイレというデザインは、その意味で強いセールスポイントにもなっている。



図 2-19 HondaJet のコックピット

### 2.9.3 量産から販売までの道程

#### (1) 認定までの困難

HondaJet のコンセプトは 1997 年頃固まり、2003 年にフライト試験を行った後、コンセプト機を Wisconsin 州 Oshkosh での航空ショーに出品したところ、大きな反響があった。そこで、ホンダは本格的に販売・量産へ取り組むことを決意し、2006 年にホンダエアクラフトという会社をノースカロライナ州に設立し、認定取得へ動き出したのである。

認定を取得するためには、まず部品レベルでの試験と組み入れた全体での試験をクリアする必要がある。例えば、ウィンド・シールド(風防のフロントガラス面)であれば、単体での材料、強度、性能、疲労などの試験とならんで構造全体での静的試験、疲労試験、フェールセーフ試験が要求される。ランディング・ギヤ(離着陸時や地上で機体を支える構造物で車輪状が多い)の場合、構造、衝撃吸収メカ、収納構造、計測や表示のシステムなどとあわせてランディング・ギヤ単体での落下試験も行われる。防氷システム(Ice Protection System)についても、その氷検知からシステムの起動、エンジンや機体の状態、溶解効果、操作マニュアルに至るまで全体の試験が行われる。

機体については、地上で 73 個のアクチュエータを取り付け、飛行時、突風時、着陸時などさまざまなケースを想定して荷重試験を行う。地上ですべての強度をシミュレートし、疲労試験も行った上で、飛行試験に移行することになる。

飛行試験は、全米のあらゆる空港(70 ヶ所以上)、あらゆる環境条件を想定しての試験が行われる。

高高度(空気が薄い状態)、高温、極低温(マイナス 40°C)での航行試験。離着陸については、高地での離着陸性能、横風試験、 $V_{MCG}$  試験といって離陸時にひとつのエンジンが止まっても離陸できるとか止めることができるか、というような試験もある。NASA のワロップス(Wallops)飛行センターでは、滑走路に 1.5cm ほどの深さの水を貯めて、エンジンに水が入るくらい水しぶきが上がる、という水の吸い込み試験。その他数多くの試験を経て、トータルで 3,000 時間に及ぶフライト試験が行われた。

これらが終了した後、Function and Reliability 試験というものがある。これは 1 日朝 6 時頃から夜中の 12 時頃まで 14~15 時間の飛行を約 1 ヶ月継続して行うものである(実際は給油を行うので 1 日 14~15 時間以上)。この過酷な試験を通じて、信頼性上問題がないかを見るものである。

FAA(Federal Aviation Administration)への提出書類はトータルで 240 万ページに上る超大部なものであった。ホンダ 1 社が単独で、しかも新規参入で完遂したということは大きなマイルストーンである。これら一連の認定のための作業はもちろんホンダ単独で行う部分のほか、FAA の検査官やパイロットも参画するので、FAA にとっても一大イベントであった。2015 年 12 月 FAA から認定を頂いた時には長官自らが来社され、サーティフィケートを手渡して頂いたものである。

## (2) 工場

かくして昨年(2015 年)のことになるが認定が下りて、量産に移行することができた。今工場は佳境状態にあるとも言ってよい。特徴は、設計情報システム、生産管理システムと ERP が一体化していることで、モバイル端末を利用してペーパーレスで部品の納入状況、ワークオーダーの状況、生産実績等を直ちに把握できる点である。

## (3) 販売とサービスネットワーク

世界のビジネスジェット機市場は北米が大きく、南米もそれなりの市場があるので、アメリカ、カナダ、ブラジルなど南北米大陸で 75%ほどを占めている。他地域では、欧州 13%、アジア 6%、アフリカ 4%、オセアニア 2%、くらいである(2012 年 GAMA による)。HondaJet はアメリカから始め、メキシコ、ヨーロッパへと展開を図っている。これで全世界のビジネスジェット機市場の 87%程度をカバーしている。全体を 11 のテリトリーに分け、うちアメリカについては 5 のテリトリーに分けてディーラーを配置している。どこに HondaJet があっても 1.5 時間以内に到達できるように、をディーラー配置のコンセプトにしている。

セールスで大事なことはやはり試乗して頂くことである。自動車でもそうであるが、いろいろな所、いろいろな機会に試乗して頂けるよう配慮している。北米では 13 ヶ所で試乗ができるし、またツアーを計画して乗って頂くことは南米やヨーロッパでも進めている。

カスタマーサービスはそれぞれディーラーで軽メンテナンスを行うようにしている。本社のカスタマーサービスセンターでは、重整備あるいは修理を行う。

サービスで重要なことは、パイロットのトレーニングである。ビジネスジェット機では機体の故障自体による事故は少ないが、パイロットのミスに起因する事故はあり得るのでそれを防ぐためにさまざまなトレーニングのプログラムを用意している。クラスルームでの教育、グラフィック・フライト・シミュレーターによる訓練、フライト・シミュレーターによる訓練、フライト・トレーニング、と進んでいくようなプログラムである。

#### (4) ホンダ エアクラフト カンパニー

会社はノースカロライナ州グリーンズボロにあり、敷地約 543 千㎡(133 エーカー)、R&D センター、本社、工場、カスタマーサービスが置かれている。

研究開発から販売・サービスまでを一貫して行えるようになっていくことが特徴である。さらに、もう一つの特徴としては、ここにあらゆる変更をシミュレートできる地上シミュレーション設備を持っている。例えば、ソフトウェアの変更とか、部品の変更が生じた時、フライトの状態がどのように変化するかを地上でシミュレーションでき、これは認定試験の一部を構成するほどである。例えば、あるコネクタ・ピンが接触不良を起こしたとすると、想定される故障モードは数千通りを超える。従来は、実機を飛ばしたり、地上で実機に沿って確認試験をしたものだが、現在はこのシミュレーターに、この数千通りのテストベクトルを夜間にインプットしておく。すると翌朝には全部の試験が終わっていて、想定される故障が出ていて開発作業の効率化に役立っている。

このシミュレーターには実機と同じハードウェア、ソフトウェアが搭載されており、サプライヤからソフトウェアのアップデート版が来ると、そのコードを SD カードでロードして、ソフトウェアの機能試験を地上で行うことができる。

テレメータリング・システムも発達してきて、現在では 3,000 チャネル以上でパイロットのcockpitでの挙動などビデオデータも地上に送ってくる。機体の外での、例えば剥離とかエンジンの挙動などもリアルタイムビデオでチェックができるようになっている。

ここ本社はスタート時は 40 人程度であったが、現在では 1,700 人に増え、全世界からエンジニアが集まってきている。国籍でいえば 30 ヶ国ほどになる。

#### 2.9.4 原点の重要性

HondaJet にはこれまでのように多くの新機軸が取り入れられている、層流翼にしても翼上エンジンにしてもそれまでの航空機設計の常識を覆すところがある。

翼の形状については、従来は厚さと中心線の組み合わせとして考えられていたが、設計時の発想の自由度が少ない。そのため必ずしもマルチポイントでの最適な設計とはならない。新型層流翼は、

ピンポイントで最適な設計を目指すのではなく、虫付着などのコンタミネーションがあっても揚力が落ちないようなロバスト性のある設計となっている。そのために、翼を翼素の集合体としてとらえるという設計手法を採用した。翼の各部分を要素に分けて設計し、その集合体として主翼を設計している。

翼上エンジンにしても空力干渉を最小にするというそれまでの常識に対する挑戦であった。通常、要素 A と B が独立(十分離れている等)であれば空気抵抗はその和となるが、A と B が近づくと干渉が起こり一般に抵抗が増す、したがって翼の上には何も置くなということが従来の常識であった。HondaJet では、敢えてその干渉によって空気抵抗を引き下げるというアプローチをとったのである。

このような新しい試みに対しては一般に批判が付きもので、社内からも非常識との批判があった。企業が大きくなると本質の議論でなく、「ダメだ、ダメだ」という議論が支配し進まない、という状況に陥りがちである。重要なことは技術の原点に戻るのではないかと思う。

HondaJet での発想も、コンピュータシミュレーションなど技法が先に来ると原点に戻ることが難しくなる。ある時、1930 年代の物理学者プランドルという人の講義録を読み返して得るところがあった。これは流体力学の原典で、以降の学者が加筆したりして解釈を変えたりしているところに原点に立ち戻ってみたのである。航空機の設計には長い歴史があり、成熟産業で、開発のサイクルも長い。そのため、いろいろな固定観念というものが確立している。それを勉強することは必要だが、新しい発想で飛行機を設計するためには、一度それらを捨てて原点に戻ることにも必要である。

#### (工場経験について)

藤野氏は入社後まもなく渡米し米国の工場で勤務することとなった。その時は部品を作る仕事をやらされ、現場で大卒扱いすらされず不満を感じたが、今となっては工場での変化とか、製品の実物を手にとってわかる感触が生きている。部品を持ってみるとどこかおかしいとか、現場が何か変だ、という感覚はその時得られた経験が基礎になっていると思う。自分自身の手でやってみるということは、決して無駄ではなかったと思っている。

#### (組織内コミュニケーション)

大きなプロジェクトは組織によって動いていく。そのこと自体は否定しないが、階層が多くなるとコミュニケーションが難しくなる。第一線の現場で考えられていることが、上層部に伝わりにくい。中間に雑音が入ると先端的な研究の妨げになるところがある。そこで、自分としてもトップに立っても現場との直接のコミュニケーションを心掛けている。このことは数式化とかモデル化という手法にも通ずることで、数式のテクニックに目を奪われて本質的な意味を見失わないよう注意することが大事だと思う。

#### (研究者と顧客)

HondaJet の開発には長期間を要したので、止めろ、中止しろ、という危機が何回もあった。ちょうど 2003 年に技術デモに成功した頃、ビジネス的には難しいから中止しようという強い声が起こって深刻

な危機状況に陥った。その頃は本当にダメかという気持ちになっていた。

半分嫌になって、休暇を取ってカリブ海に遊びに行った。そこで偶然あるアメリカの家族と隣り合わせになった。朝食をとりながら、「かわいいお子さんですね。」というような話から会話が始まって、先方から「お前はアメリカで何をやっているのか。」と尋ねられ、そこから自分はホンダでジェット機の開発をやっているという話をした。

そのアメリカ人は自分でジェット機を持ち、それでカリブ海諸島まで来ている人で、ホンダのこともホンダがジェット機を開発していることもよく知っていた。そして、「HondaJet は素晴らしい、これが出たら俺は必ず買うぞ。」とまで言ってくれて、励まされた。自分はそれまで研究開発や市場調査などを行ってきたが、この人が本当の意味で初めて直接出会った HondaJet のお客様ということになる。この言葉に励まされ、これはいけるのではないかと自信も湧いてきた。気持ちを建て直して再度本社と交渉して、最終的に事業化が決定されたことはこの出逢いが大きな力になったためである。

事業化決定の数年後に、NBAAという航空ショーに商用機を出品した。そこへかのカリブ海で出会ったアメリカ人も来ていて、「フジノサン、俺は嘘を言っていないだろう。」と語りかけられた。この時は数千人もの人が集まって来てくれ、多くの人から HondaJet を買いたいと言われた。「ジェット機がホットケーキのように売れるなんて、見たことがない。」と評判になったものである。社内でだけでなく、広い世界にアピールすることの重要性、研究者がエンドユーザーに接することの大事さを身をもって感じることができたのである。

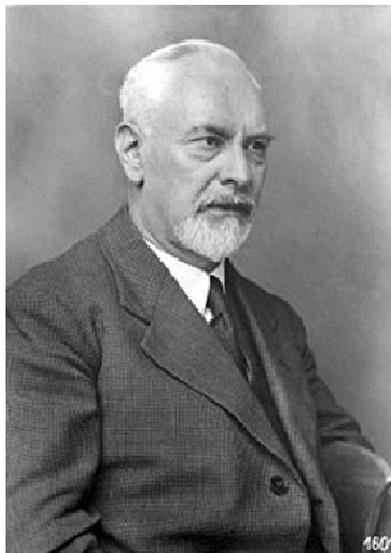


図 2-20 Ludwig Prandtl

ルートヴィヒ・プランドルはドイツの物理学者(1875-1953)。亜音速から音速レベルの航空力学の数学的基礎を確立、境界層(boundary layer)、薄翼層(thin-airfoil)、揚力線理論(lifting-line theory)などの概念を示した。

## 【参考資料】

・「ホンダジェットのイノベーション」、藤野道格、『技術と経済』2016年7月号。

### 2.10 少量採血でのアミノ酸測定によるがんリスク検査の事業化(味の素)(2014年度会長賞)

化学・バイオ領域で、アミノ酸にフォーカスしたメタボロミクス研究によるがんリスク検査予防型医療におけるイノベーションである。世界的に医療においては、病に罹ってから治療することも大切であるが、個人の幸せのためにまた社会経済的にも予防や健康の維持にシフトすべきであるとの流れが強まっている。本イノベーションは、そのような方向に沿った技術であると考えられた。

#### 2.10.1 概要

世界で初めてメタボロミクスを応用し、5mlの採血で複数のがんリスクを評価する血液検査を実用化した。味の素ではアミノ酸の安全性研究をきっかけに、血液中のアミノ酸が体の状態により変化することを捉えていた。これをきっかけにアミノ酸に絞ったメタボロミクス技術(生体の代謝物量を測定して体の状態を把握する技術)を世界に先駆けて確立し、がんのリスクを評価する手法を確立・実用化した。

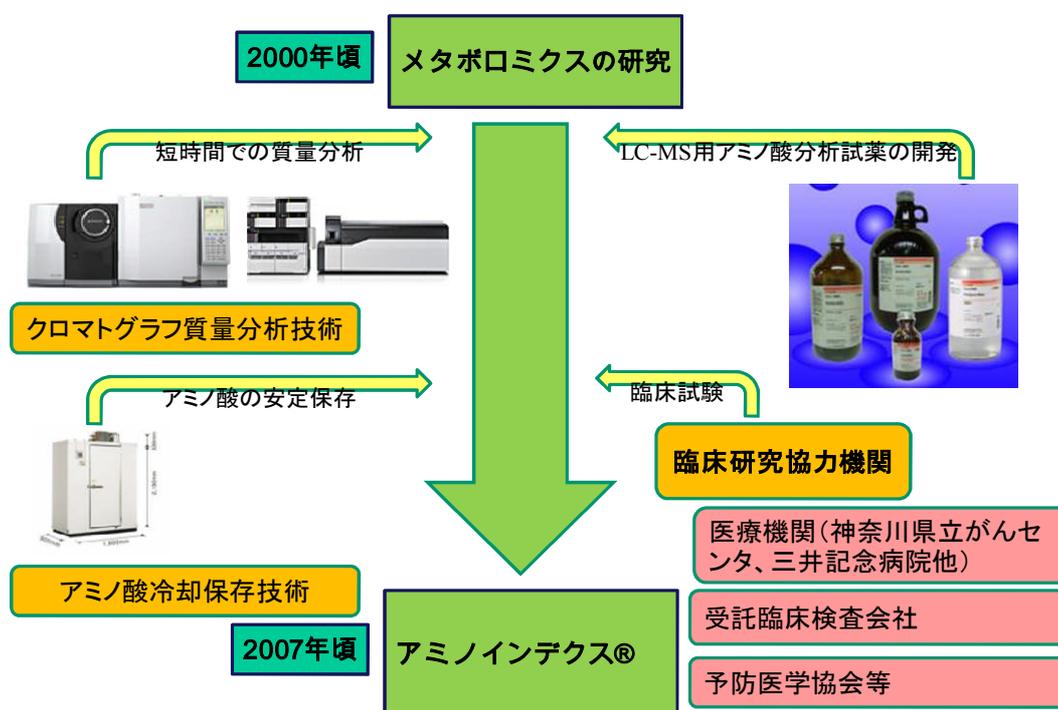


図 2-21 メタボロミクス研究からアミノインデクスへ  
(2015年2月17日表彰式でのプレゼンテーションから)

メタボロミクスの確立には1万を超えるヒト血液の高精度なアミノ酸測定データが必要となるが、従

来の1検体2時間を要する分析法ではデータ取得に限界があった。当社は、分析試薬の開発と高速液体クロマトグラフィー質量分析装置(LC-MS)を応用して、1検体7分で分析する方法を確立し、高速・高精度な分析法として実用化した。血液検体の分析効率は格段に上昇し、数万に及ぶ血中アミノ酸のデータバンクを構築してきた。

新しいアミノ酸分析法とデータバンクを活用したメタボロミクスとの組み合わせで、臨床応用可能な「アミノインデックス®がんリスクスクリーニング検査」を確立し、受託臨床検査会社と共同で事業化した。現在、人間ドックや企業健診で活用されている。

## (1) 研究開発の動機

アミノ酸のリーディングカンパニーとして、味の素はアミノ酸の分析研究、アミノ酸の安全性研究、アミノ酸の生化学研究の基盤研究等に取り組んでいた。ゲノミクス、プロテオミクス、メタボロミクスなどバイオインフォーマティクスの研究・技術開発が活発化する中、自社内の研究知見から、高速アミノ酸分析技術とアミノ酸にフォーカスしたメタボロミクス技術の確立を目指し、応用・開発研究へと展開した。

### 【着手時期】

- I. きっかけとなる研究の着手時期 2001年。
- II. 事業化プロジェクトの開始時期 2006年7月。

## (2) 技術シーズ

- I. 高速アミノ酸分析技術の開発
  - II. アミノ酸の安全性研究と血中アミノ酸プロファイルの変化へのメタボロミクスの応用
- これらの技術シーズはすべて社内からである。

事業化に当たり、当社が独自に発見した新しいアミノ酸分析試薬の開発・事業化は和光純薬工業(株)、LC-MSアミノ酸分析装置の事業化は(株)島津製作所、検体運搬用具の開発・事業化には、神奈川県産業技術総合研究所、(株)カノウ冷機、フォルテグロウメディカル(株)、受託臨床検査の事業化は(株)エスアールエルと連携し、社外資源を活用した。多施設臨床研究に関しては多くの医療機関との共同研究(神奈川県立がんセンター、岡山大学病院、大阪府立成人病センター、群馬県立がんセンター、千葉県がんセンター、静岡県立がんセンター、横浜市立大学附属市民総合医療センター、横浜市立市民病院、横浜南共済病院、横浜市立大学附属病院、愛知県がんセンター中央病院、慶應義塾大学病院、三井記念病院総合健診センター、亀田メディカルセンター幕張、神奈川県予防医学協会)を推進した。

基盤技術の育成に関しては社内研究資源を活用したが、社内にリソースの無い研究領域については外部の研究機関と積極的に共同研究を実施した。それらは以下の通りである。

- ・横浜市立大学附属病院(主として研究発展のきっかけとなる臨床試験)
- ・神奈川県立がんセンター(研究発展のきっかけとなる臨床試験、メカニズム研究)
- ・国立がん研究センター(コホート試験)
- ・慶應義塾大学(メカニズム研究)
- ・神奈川県産業技術総合研究所(検体運搬用具)

これら研究開発のプロセスを経て、市場化時期は、2011年4月である。

## 2.10.2 イノベーションによる変化

### ・製品の変化

1回5mlの少量採血で、複数のがんのリスクを検査できる、早期がんにも対応した検査。従来がん検診で用いられている検査法とは全く異なった簡便な採血検査。

### ・顧客の変化

従来のがん検査には精神的負担や身体的負担が伴うものが多かったが、採血だけの簡便な本検査法の導入により、がん検診受診のハードルが下がり、がん検診の受診率向上に繋がっている。

### ・生産方式の変化

血中アミノ酸分析は、従来1検体あたり2時間かかっていたが、新しいLC-MSの技術開発によって7分でできるようになり、検査時間の短縮と検査のコストダウンに繋がった。研究開発の進展にも大きく貢献した。

### ・ビジネスモデルの変化

味の素(株)にとっては初めての受託臨床検査サービスへの参入である。将来的にはアミノ酸を主軸とした健康度診断サービスやIT技術との融合を展開し、健康課題のソリューション事業との連携を図っていく。

### ・組織の変化

- I. 研究企画部門から事業化プロジェクトを独立(2006年)
- II. 事業化PJがコーポレート部門から健康ケア事業本部に移行(コストCからプロフィットCへ)
- III. 事業化プロジェクトが事業部へ(2011年)
- IV. SRL社との共同事業体制の始動(2011年)

### 2.10.3 事業化・アウトカム

#### (1) 事業化までの困難性

I. 血液サンプル中のアミノ酸を測定する臨床試験を実施する中で、通常の血液検査で用いられている室温での検体保存プロセスではアミノ酸が不安定であることが判明し、安定な保存プロセスの開発が必要となった。

II. 血液中アミノ酸の測定について、自社内に研究開発技術はあったが、事業化に必要な生産技術や受託検査のインフラ等の経営資源は無く、単独での事業化は困難であった。

#### (2) 上記困難を克服するためにとったアクション

I. 血液中のアミノ酸を安定に保存するための様々な方法を検討した。冷却、酵素阻害剤の利用、赤血球の膜分離除去などを試みたが、最終的に採血後の速やかな氷水冷却が最良であることが判った。氷水と同等の冷却効果をもつ採血チューブ立て「キューブクーラー®」を神奈川県産業技術総合研究所、カノウ冷機と短期間に共同開発し事業化した。

II. 臨床検査用の体外診断薬(LC-MS 用アミノ酸分析試薬)の生産販売は、この分野で実績のある和光純薬工業と提携することで事業化を実現した。現在「アミノタグ・ワコー」としてアミノ酸検査用の体外診断薬として販売されている。LC-MS 高速アミノ酸分析装置とそれを動かすためのソフトウェアを開発、製造することは、この分野で実績のある島津製作所と提携することで事業化を実現した。現在 UF-Amino Station と名付けられ市販されている。検査ビジネスは全く新しい事業領域であったため、検体の回収や検査結果の説明、検査料の請求や回収などを行う体制を構築する必要があった。しかし、この体制を自社で構築していくとすれば、大きなコストと莫大な時間がかかる。この領域では国内受託臨床検査会社トップのエスアールエルと共同事業体制を築いた。

#### (3) 上記困難に対して組織やマネジメントが関わった克服策

「キューブクーラー®」の開発(カノウ冷機)、アミノ酸分析試薬の開発(和光純薬工業)、LC-MS を応用した高速アミノ酸分析装置の開発(島津製作所)にマネジメントが関与、依頼。

#### (4) イノベーションによって生み出された新たな売上高と雇用者数

2013 年度の AICS(アミノインデックスがんリスクスクリーニング)の単年度受診者数は約 35,000 人。

2011 年度事業化以来累計では約7万人

2014 年度の導入医療機関数は約 880 施設。

#### (5) 社会への影響(効果)と今後の展望

我が国のがん検診受診率は 20-30%で推移しているが、簡便なスクリーニング検査である AICS が普及すれば、受診率、がん発見率の増加、死亡率の減少を実現でき。医療経済の有用なスクリーニング検査となる。地域コホート研究ではそれを示唆するデータも出つつある。また一橋大学において

医療経済効果についても考察がなされ、がん発症年齢での経済効果が示唆されている。

血液中のアミノ酸バランスを解析する技術の応用は、がんリスクスクリーニングのみならず、生活習慣病、認知症など、他の疾患リスクの検査にも応用が期待されている。また血中アミノ酸の測定によって、栄養状態をモニタリングできる可能性も示唆されてきており、疾患予防のための栄養ソリューションの提供や運動メニューの提供など、新しいヘルスケア事業の領域を展開できる可能性がある。人口の高齢化が進むわが国においては、健康寿命の延伸が国の重要テーマとなっているが、血液中のアミノ酸を測定することは高齢化に伴う疾患リスクや低栄養リスクをいち早く知る手段となる可能性が高く、この領域でも貢献ができるものと期待している。

また、この技術はグローバル社会の抱える健康問題への貢献という観点でも様々な可能性があり、海外への事業展開も検討中である。

## 【公表資料】

I. Network analysis of plasma and tissue amino acids and the generation of an amino index for potential diagnostic use; Am J Clin Nutr 83(supple):513S-9S (2006 年)

II. Precolumn Derivatization Reagents for High Speed Analysis of Amines and Amino Acids in Biological Fluid using Liquid Chromatography/Electrospray-Tandem Mass Spectrometry ; Rapid Commun. Mass Spectrom. 23, 1483-1492 (2009).

他、以下略。

## 2.11 ロングテールの飲食店市場の生産性向上に貢献する独自インフラの構築(ぐるなび)(2014年度会長賞)

インターネットによる日本で初めての外食産業の検索サイト構築であるが、それに留まらず外食産業への営業支援や食文化の発展をも視野に入れた事業が織り込まれている。

提案件名は、「ロングテールの飲食店市場の生産性向上に貢献するオンライン(IT の利活用)とオフライン(1,000 人の営業系スタッフ)の二層を中心とした独自インフラの構築」というものであった。

### 2.11.1 概要

1996 年ウェブサイト「ぐるなび」を開設した。飲食店業界の活性化と日本の食文化の育成を目指して、中小零細が中心の飲食店という顧客に対して、IT ベースのオンラインのインフラと、約 1,000 人の営業系スタッフに代表されるオフラインのインフラの 2 層の仕組みを中心とした各種販促支援サービスを提供している。飲食店を探している生活者には、飲食店のオフィシャルサイト「ぐるなび」を通して飲食店情報を提供し、飲食店に行く前にネットで情報を探したり確認したりという新しい行動パターンを

根付かせた。このことにより飲食店の、賃借料に大きな影響のある立地の制約を大きく軽減させた。さらに、飲食店には日々の集客に貢献する販促支援ツールを提供し、IT を利活用して飲食店業界の生産性を大きく向上させることに貢献している。

外食に関する国内の情報サイトとしての歴史はもともと古く規模も国内最大級。現在、会員数 1,230 万人、月間 PV10 億 1,000 万、4,200 万人のユニークユーザー、全国 14 万をこえる飲食店の詳細情報を掲載している。

#### 【研究開発の動機】

1995 年当時、東京都内の飲食店約 10 万店のうち、電話帳に広告出稿している飲食店はわずか約 2,500 店舗であった。これはピーク時には約 30 兆円ともいわれた大きな市場規模を有する日本の外食産業において、飲食店の販促のためのコストパフォーマンスのよいメディアが存在していなかったことを示唆していた。他方、生活者にとっても、約 50 万店ともいわれる膨大な数の飲食店をいつでも探せる手段がなかったという課題もあった。こうした背景をうけて、新しい情報サービスの社会的必要性と、外食産業における新しいメディアがもつ事業ポテンシャルの大きさを認識したことが事業開発の動機となった。

インターネットの日本での本格的な商用化が始まった 1995 年にサービス構築に着手した。翌 1996 年 6 月にウェブサイト「ぐるなび」を開設した。

技術シーズとしては当時大きく変貌を遂げつつあったコンピュータと通信インフラが挙げられる。1980 年代中ごろからコンピュータの小型化が進んだが、その用途は科学技術計算や産業利用、ワープロや表計算などのビジネスシーンでの利用が中心であった。こうした中、株式会社 NKB は、国内ではいち早くコンピュータと通信網を活かして、不特定多数の生活者に対して、賃貸不動産情報、求人情報、結婚式場情報といった生活情報を発信するサービスを 1985 年の通信自由化のタイミングで上野駅、東京駅に設置した情報端末「JOY タッチ」で実現した。この事業展開の中で、それまで紙媒体で行われてきたことを、コンピュータと通信網を使って直接個人に対して価値ある形で届けるためのユーザーインターフェースや、遅い回線速度でも効率よく画像を綺麗に見えるようにデータ転送をするためのさまざまな技術開発やノウハウを蓄積してきた。この「JOY タッチ」は、その技術的なレベルの高さも評価されて、1986 年、1993 年の東京サミットにおける端末サービスにも採用された。インターネットが日本で本格的に普及される 10 年も前から行っていたこうした技術開発やノウハウの蓄積がぐるなびの開発につながった技術シーズといえる。

なお「ぐるなび」事業は、株式会社 NKB の事業としてスタートし、2000 年の分社独立を経て、現在は株式会社ぐるなびが運営している。

社外にあった技術シーズとしては、低価格なコンピューターシステムの普及、通信の自由化、そし

てインターネット上の情報を表示するブラウザ(文字だけではなく画像処理が容易に処理できるアプリケーション)の登場などが挙げられる。

産学連携については、外食産業の健全な発展に寄与すべく、国立大学法人 東京工業大学に、「ぐるなび」食の未来創成寄附講座を設置(2010年10月～)し、5期目を迎えようとしている。

市場化時期は、1996年(サービスを提供)が一般に向けた市場化の時期である。

## 2.11.2 取組みによって生み出された変化

### (1) 製品の変化

ぐるなび以前は、生活者が飲食店の情報を取得するには、各種情報誌などの紙媒体によっていた。生活者が飲食店に関する情報を取得するための媒体は、ぐるなび登場前後で大きく変化した。情報誌などは紙媒体特有の制約があるため、掲載される情報量に限界があること、掲載されている情報はあくまでも取材当時の情報のままであり最新でないこと、掲載されているのは掲載料を支払える一部店舗に限定されること、全国に約50万店ともいわれる飲食店を探すということには不向きなこと、そしてお店を探したいときに必ずしも媒体を手元に持っているとは限らないこと、といった課題があった。

ウェブサイト「ぐるなび」という新しい媒体の登場により、掲載できる情報の質・量が飛躍的に向上されたこと、通信可能な携帯小型情報端末の登場などもあって、生活者はいつでもどこでも最新かつ自分の利用したいシーンに合致した飲食店をすばやく簡単に検索できるようになった。

### (2) 顧客の変化

ぐるなび事業の主な顧客は、飲食店および外食する生活者である。

生活者は上記のとおり、いつでもどこからでも自分の利用シーンにあわせた飲食店を探せるようになり、飲食店に行く前にぐるなびを見るという新しい生活スタイルが定着した。

他方、ぐるなび登場以前の飲食店は、日々の集客に効果的な販促媒体があったとは言えず、1に立地、2に立地、3、4がなくて5に立地と言われていた。また郊外のロードサイド店には販促手段なしとも言われていた。こうした状況下にあって、ぐるなび登場後はインターネット上の仮想店舗(店舗ページ)において自店舗の正確かつ最新の一次情報や日々変化するお得な情報などを生活者に発信することで、立地による制約を大幅に変化させた。

### (3) 生産方式の変化

ウェブサイト「ぐるなび」で掲載する情報が質的にも量的にも飛躍的に向上した背景には、2000年10月に飲食店向けにサービスを開始した「管理画面」の存在が大きい。「管理画面」は、飲食店が自らぐるなび上に掲載される店舗ページの情報を更新できる、当時としては画期的なウェブアプリケー

ションであった。「管理画面」によってサイトに掲載する飲食店情報の生産方式を大きく変化させた。

「管理画面」登場以前は、ぐるなびが飲食店からその都度委託をうけて内容を更新していたが、「管理画面」の登場により、飲食店は自らいつでも情報発信を行えるようになった。この結果、情報更新のスピードが飛躍的に早まり、また情報の質・量ともに大幅に向上した。頻度の高い非日常の楽しみの代表である「外食」という生活習慣にあって、ユーザーは正確・最新な一次情報を求めている。自店舗のウリやこだわりを一番把握している店舗自ら情報発信が自店舗の集客につながることを実感した結果、最新の非常にきめ細かい情報が日々発信されるようになったためである。

#### (4) ビジネスモデルの変化

創業当時に新しいビジネスモデルを構想し、その時点でのビジネスモデルの具現化に一貫して取り組んでいるといえる。

### 2.11.3 事業化・アウトカム

#### (1) 事業化までの困難性

ぐるなびの基盤事業の本格的な収益化にあたって二つのフェーズを経た。

フェーズ1では、約1万店舗の飲食店情報をぐるなびサイト上に掲載する状態を構築することを一つの指標に事業展開した。この過程では、「生活者」に対してそれまでインターネットで飲食店を探すという生活習慣がなかった点についての意識変革を促すことが必要であった。また、「飲食店」に対しては、インターネットが集客に役に立つということを実感してもらうための意識変革も必要であった。

加盟店舗1万店を達成した後のフェーズ2では、当初からの構想にしたがってAE(アカウント・エグゼクティブ)型とよばれる営業体制に移行することを実施した。このフェーズ2は、本格的な収益事業の具現化を開始したフェーズであり、ぐるなびが提供する様々な販促手段を活かして効率よく集客を実践する飲食店を増やすことを狙った。このフェーズでは、社員の意識変革、およびさらなる飲食店への意識変革をうながす点も課題となった。

なお、AE型営業とは、担当営業スタッフがそれぞれの飲食店ごとに、より集客効果を高め、売り上げを伸ばすことができる販促プランを提案する営業スタイルのことである。

#### (2) 上記困難を克服するためにとったアクション

##### フェーズ1におけるアクション

インターネットの登場を「情報系の産業革命」と捉えた。通信コストが大幅(2桁以上)に下がることで生活者はそれまでに比べて飛躍的に多くの情報を入手できるようになり、その情報に基づいて行動を起こすようになるかと判断した。こうした生活スタイルの変化が起こることを前提に置き、ぐるなびが提供する飲食店の情報は質・量ともに徹底的にこだわり、それを無料で生活者に提供すると決定

した。このため、生活者の意識変革を前倒しにし、飲食店に出かける前に「ぐるなび」をチェックするという外食時のライフスタイルが定着した。

他方、飲食店に対しては、事業開始当初は媒体の費用対効果を訴求できないこともあり、加盟料を少額に設定することで多くの飲食店がぐるなびを体験できるようにした。少額だが有償加盟とすることは事業運営資金を確保する狙いもあったが、サイト上で発信する情報にお店が責任を持つ素地を醸成させる狙いが大きい。さらに、営業スタッフによるノートパソコンによる実演や、生活者がぐるなびサイト経由で予約したメールを自動的にファックスに変換するシステムの提供や「クーポン」なども利用することで、ぐるなびで予約が入る、ぐるなびを見たユーザーが来店しているという実績を積み重ねることで徐々に飲食店の意識変革を進めた。

#### フェーズ2におけるアクション

1 万店を超えたあたりで、ぐるなびという媒体の費用対効果が非常に良好であることを証明する店舗が多く登場し始めた。このタイミングで、AE型の営業スタイルに経営方針を転換した。フェーズ2は、提供する価値によって生ずる貢献度に応じて適切な対価を飲食店が支払うというフェーズであった。このフェーズでは、新しい商品開発や、今まで以上にネットユーザーがアクセスしたくなるための魅力あるコンテンツをウェブサイトぐるなびに用意する必要もあった。例えば、ウェブサイトぐるなびのトップページは、500時間をかけてあらゆる角度から内容を吟味した結果大幅なリニューアルを実現した。

また、飲食店に対しても「パック」と呼ばれる年間契約を前提とした商品を開発し、これにあわせて営業を対象とした勉強会を繰り返し実施して自社の営業スタッフの意識変革を促した。

また、飲食店の意識変革を促進するために、2002年より「ぐるなび大学」という飲食店向け教育環境を整え、現在年間3,000回を超えるさまざまな講座が開催されている。さまざまな販促ツールを組み合わせた同業他店舗の成功事例を繰り返し伝えることで飲食店の意識変革をさらに促進した。

#### **(3) 上記困難に対して組織やマネジメントが関わった克服策**

社員のモチベーションを高め、意識変革を促すためにも、ぐるなびという事業がもたらす成功事例を素早く収集し共有することが重要であった。特にAE型に移行する際には頻繁に社内勉強会を実施した。ただし、新しい事業体である「ぐるなび」では、お手本となる成功事例は社外ではなく社内には存在しており、これを探すために腐心した。

#### **(4) イノベーションによって生み出された新たな売上高と雇用者数**

売上高、雇用者数については別添資料(図 2-22)の通り。

#### **(5) 今後の展望**

ぐるなびでは以下に示す7つのオリジナルのインフラをこれまでに確立してきた。

- ① オフィシャルサイト「ぐるなび」(食のビッグデータが集積されるオンラインのインフラ)
- ② 1,000人の営業体制(飲食店と直接やりとりするオフラインのインフラ)

- ③ ぐるなび PRO(毎日1万2千店以上が情報更新する「管理画面」など)
- ④ シェフの日(毎月1万2千店以上が料理教室・試食会・イベントを開催)
- ⑤ オリジナルリスティングメディア(Let's Enjoy Tokyo、ぐるたび)
- ⑥ 秘書のコミュニティ(3万人をこえる秘書会員)
- ⑦ ミシュラン(英語版の運営や Club MICHELIN(クラブ・ミシュラン)事業の展開など)

今後は、それぞれのオリジナル事業インフラを強化するとともに、新しい事業展開を図っていく。例えば、東京2020オリンピック・パラリンピックを契機にますます重要になるインバウンド領域における事業(海外における日本ファンづくりや、外国人向けの受け入れ環境整備の促進など)や、日本各地の食材、食文化を守り育てながら、地域活性化にも貢献する「ぐるたび」等の事業も展開している。

こうした取り組みを行っていき、飲食店検索サイトのぐるなびから、生産者、料理人、お店の利用者をつなぐ『情報問屋』のぐるなびになり、農漁業の産業化等へも貢献できると考えている。

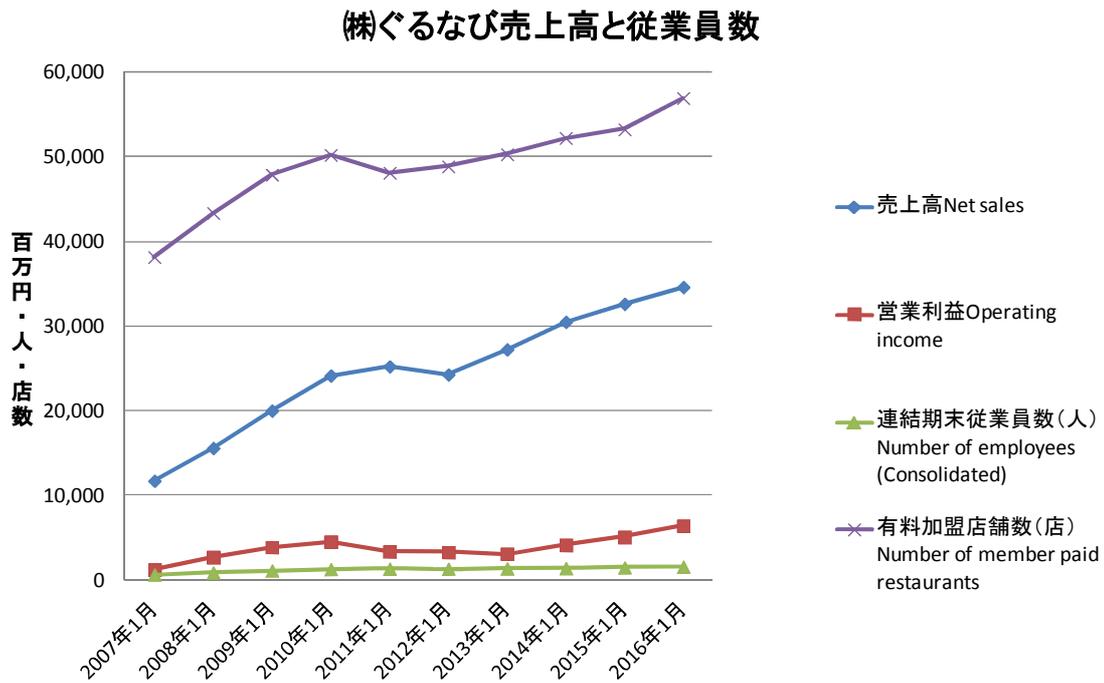


図 2-22 (株)ぐるなび Fact Book より

## 2.12 安全計装システム ProSafe-RS の事業化(横河電機)(2014 年度会長賞)

プラント制御計測分野におけるイノベーションで、従来本業界で非常識とされていた分散型制御システム DCS(Distributed Control System、監視・制御用のシステムで正常時に円滑に運転を制御するためのシステム)と異常事態停止事故防止システム SIS(Safety Instrumented System、緊急時にプラントを安全な状態に導くと同時に高稼働率を実現するシステム)とを統合させ、世界的にシェアを高めることとなった事例である。

### 2.12.1 概要・動機

安全計装システム(SIS)は、プロセスの異常を即座に検知して速やかにプラントを停止させる安全の要であるが、1990 年代の市場規模は生産制御システム(DCS)の 1/10 程度に過ぎなかった。また、中規模専門メーカー独占のニッチで保守的な世界であった。そのため、当分野は成長も期待できず、大手 DCS メーカーの積極参入はなかった。

しかし、繰り返されるプラント事故の防止を目的に法規制や国際規格の整備が進むにつれて、海外主要顧客から「時代遅れの SIS を、日本の高度な技術で刷新してほしい。」との強い要請を受け 1990 年代後半に開発に着手。DCS と SIS は分離運用すべきという従来の考え方を、密な統合運用に変えるという新しい発想と、欧米の安全計装思想と日本の高信頼設計思想を融合させる斬新な取組みに挑戦した。構想から実現までの全段階にわたり厳格に審査される、国際規格適合の認証プロセスをクリアし、最低 5 年は必要と言われた開発をわずか 3 年で完遂。世界初の統合運用システムは短期に顧客支持を獲得、他の大手 DCS メーカーもこの動きに追従するという、保守的市場での大変革をもたらした。

SIS 市場は年率 10%近い成長に転じ、新規参入の横河はわずか 7 年で市場 2 位を達成し、1 位に肉迫している。

#### 【研究開発の過程】

制御システムは 24 時間 365 日プロセスをコントロールし続け、絶対に生産を止めないことが使命のシステム(DCS)である。それを実現するべく進化してきたのが横河電機の DCS である CENTUM であった。一方、安全計装システム(SIS)は逆に、稀にしか発生しないプロセスの危険事象に対して、確実に安全にシャットダウン動作をすることが求められる。自動車に例えれば、エアバッグや自動衝突回避システムのように、正常時の誤動作は許されないが、いざという時には必ず動作することが求められるシステムである。しかも、このいわば正反対のシステムは機能を分離してお互いに干渉しあってはならないという要件が、国際規格 IEC61508、IEC61511(機能安全規格)により定義されていた。

言い換えれば、どちらか一方の問題で他方も機能しなくなり、プロセスを危険にさらすことは決して許されない。そのため、DCS と SIS は独立運用が当たり前で、誰もそれに正面から異を唱えることのない

い超保守的な世界であった。また、正常時に誤作動しないという信頼性の証明は、市場での長期稼働実績でのみ評価されていた。その一方で、独立が故の異なる操作監視環境や情報の非統一性は、現場オペレータやエンジニアにとっては非常に使い勝手の悪いものでもあり、改善を望む声も多く聞かれた。この超保守的な市場に挑戦し、日本ベンダーとして初の SIS を開発し、しかも DCS との統合運用による、より高度で安全な操業性を世界市場へ提供することは、生産性のさらなる向上とともに、人命や環境の保護にも大きく貢献できると考えた。

#### 【着手時期】

2002 年 1 月

#### 【技術シーズ】

1975 年の発売以来、自社 DCS で培い実績のある以下の技術は本イノベーションでの技術シーズを構成している。

- ・高信頼設計技術、二重化技術、標準化規格認証技術。
- ・大規模かつ複雑なプラントを、ごく少数のオペレータで操業可能とする統合操作監視機能の実現技術。
- ・プラントの設計や変更に合わせて、柔軟かつ効率的に上記統合操作監視機能とプロセス制御機能を構築するエンジニアリングプラットフォーム。

#### 【技術シーズが社外の場合その経緯】

SIS 専業ベンダーが持っていた、安全設計思想と技術、関連規格のノウハウを、買収によって入手した。

また、国際規格 IEC61508 が規定している安全設計要件を満たしたソフトウェアプラットフォームを社外から調達した。

#### 【外部との連携・市場化時期】

ドイツの公的認証機関 TÜV Rheinland、米国の安全計装コンサルティング会社 exida、英国の SIS ソフトウェア開発コンサルティング会社 OAC。これらの会社と連携し、開発過程では頻りに直接あるいは TV 会議、電話会議を実施した。

研究開発における外部資金や産学連携は特にない。

市場化時期は、2005 年 2 月といえる。

## 2.12.2 取組みによって生み出された変化

### (1) 製品の変化

これまでの横河電機の製品ラインナップに無かった安全計装商品をリリースしたことで製品の変化

を生んだ。製品名：ProSafe-RS。

## (2) 顧客の変化

以前は分離すべしとされていたDCSとSISが密に結合され、統合操作監視できることが顧客側にて当然のこととなった。

また、そのシステムは設計時からシングルベンダーに一括設計、発注するという商習慣の変化をももたらした。

## (3) 生産方式の変化

従来はDCSエンジニアリング組織が、DCSの一部として安全機能を実現・提供していたが、新たにSISエンジニアリング専門組織を立ち上げて実現・提供する方式に変更した。さらにそのSISエンジニアリングの品質保証の為、社内でのSISエンジニアリングルールの体系化を行い、SISエンジニアリング能力(個人・組織)に対して第三者認証による資格取得を強化した。

## (4) 供給源・調達の変化

それまで社外よりOEM供給を受けていたSISを自社製に切り替えたことで、品質確保のみならず納期や輸送を自社で確実に管理できるようになった。

## (5) ビジネスモデルの変化

DCS単体ビジネスから、DCS-SIS統合システムビジネスに広がった。結果として、より広範囲のエンジニアリングと保守を任されるようになり、ハードウェアベンダーからソリューションカンパニーへ進化したといえる。

## (6) 組織の変化

国内外拠点での安全計装ビジネス専任セールスや、SISエンジニアリング専任組織の確立。

また拠点間での情報交換などの為のバーチャルな組織や、エンドユーザなどへの安全計装の教育を担う組織を設立。

### 2.12.3 事業化・アウトカム

#### (1) 事業化までの困難性

この開発は当時の以下のような数々なタブーへの挑戦であった。

##### ■市場困難性

既に市場は欧米数社に占有されて成熟しており、当時のSISの延長では大きな市場成長も期待できず、さらに10年以上の稼働実績を導入条件とする超保守的市場への新製品投入と短期顧客獲得は不可能に近く、マーケティングセオリーから見ても成長の見込めない市場への大規模投資となる可能性がある、として社内外から否定的な評価を受けた。

客先では、DCSを導入して運用担当する組織とSISを導入して運用する組織が分かれており、そ

れが当たり前の文化となっていたため、統合運用が受け入れられるかについて大きなリスクがあった。

#### ■技術困難性

DCSとSISの機能は分離、かつ非干渉が国際規格の要件であり、それを同一制御ネットワーク上で結合して統合監視を実現することは、技術的に不可能と考えられた。

DCSとは異なる安全設計思想に基づき、設計のコンセプトから製品が出来上がるまでの、すべての段階にわたり規格要件を満足することがチェックされるという、厳密な認証プロセスへの適合が求められる開発であり、ひとたび後戻りが発生すれば、再設計と再チェックのために多大な時間と費用を失い、結果として製品の市場投入も大幅に遅れるという高いリスクを伴っていた。

#### ■組織的(内部)困難性

既存の欧米規格は従うべきもので、日本企業がそれに挑戦し市場を変えることは、やるだけ無駄な試みと考えられた。

日本では、故障はあっても事故はあってはならない文化であり、欧米の事故発生確率に基づいたリスクベースのシステム設計は社内でも馴染みがなく、設計は買収したオランダの専門メーカーに任せたいというスタンスであった。さらに「自分たちは本業のDCS開発で手一杯」と、同じ社内でありながらも他人事であり、社内協力を得ることが難しかった。

### (2) 上記困難を克服するためにとったアクション

#### ■市場困難性の克服

本開発は、重要顧客の強い要望で開始されたものの、既存専門メーカーの強固な参入障壁があり、市場参入は難航が予想されたため、一部の顧客の声に限らず、海外シンポジウムなどでの市場情報や、エンドユーザやエンジニアリング会社による発表・発言を徹底的に収集、分析した。その結果、「DCS-SISの統合運用を実現できればSIS市場を変えられる。」との確信を得た。

同時に市場を占有している競合他社製品の利点、欠点、顧客の不満などを調査・分析した。

国際規格IEC61508ではプラントの設計から廃棄までのライフサイクルを対象としているため、操作性の効率化だけでなく、納入後の保守性を良くして、サービスも含めた統合運用によるトータルコスト削減(顧客メリット)を提案した。

市場への早期参入を最優先として、必要最小限の開発項目に絞り込み、同時に投資回収リスクの軽減を図った。

安全計装の元となる、機能安全の国際規格委員会(IEC、ISA)への参画や、国内業界団体を通じた「IEC規格のJIS化活動」、国内での「機能安全普及活動」のリード等により、SIS市場での存在感を強くアピールした。

#### ■技術困難性の克服

まず、買収したSIS専門メーカーのSISシステムをベースに事業参入し、技術知識、ノウハウだけで

なく、独特の規格認証手順や商習慣などの技術以外のビジネス要求を習得した。

規格認証に経験のある安全計装コンサルティング会社を使った技術フィージビリティスタディを綿密に行い、「初めての開発」での手戻り(やり直し)発生の可能性を最小限に止めるようにした。

自社 DCS で培った高品質な製品開発プロセスおよび高信頼設・高稼働計技術を最大限駆使し、難題であった DCS と SIS が干渉しあわないための徹底的な要件分析と理論武装、さらに DCS 本体の設計変更も含めた対策を立案した。

規格適合認証機関(ドイツ)との会議を、TV 会議を通じて頻繁に実施。特に、双方とも母国語ではない英語でのやり取りであるため、会議の資料は簡潔かつ事前送付をして、効率よくしかも誤解を生じないようにするという基本的なことを忠実に実行するとともに、お互いの表情が見える環境での会議とすることで、相手からも信頼を得て密接な関係を構築するよう努めた。

#### ■組織的困難性の克服

当初は SIS 開発の経験豊富なエンジニアが多いオランダ側を開発本拠とし、日本人技術者を派遣していたが、DCS との統合運用実現のために開発本拠地を日本に変更した。

当初は DCS 開発側から一歩距離を置かれていたが、DCS 開発エンジニアを大胆に投入することで組織間の壁を克服、一体開発の団結力を高めた。

#### (3) 上記困難に対して組織やマネジメントが関わった克服策

必要なリソースの確保(日本・オランダでの専任組織の設立。有力技術者の異動、オランダ派遣)。マネジメントとして脱自前主義を決断し、システムプラットフォームにも社外ソフトウェア技術を積極的に導入した。最後はトップダウンの決断により、DCS 開発部隊を SIS 開発に投入し、一人一人の開発者がオーナーシップ(責任感)を持ち、国際的一体感と信頼関係を築いた。

#### (4) イノベーションによって生み出された新たな売上高と雇用者数

##### ■売上高

・累積値(2005年～2013年): 約 USD 2,000Million、 2013年単年: USD 383Million

・DCS 市場の伸び(CAGR)の見通しが 4.4%であるのに対し、SIS 市場の伸びは 9.2%と急成長が見込まれる中で、世界シェア No.2 を達成。また、SIS 市場の半分を占める Oil&Gas と化学の分野では世界シェア No.1 を達成。

(出典 ARC Report 2012 “Process Safety Systems Global Market Research Study/MARKET ANALYSIS AND FORECAST THROUGH 2017”)

##### ■雇用

SIS をエンジニアリングする組織の立ち上げにより、全世界で約 500 人の雇用を創出。

#### (5) 社会への影響(効果)と今後の展開・展望

これまでの生産システム(DCS)と SIS は分離し、しかも別々のメーカーが製造・エンジニアリングし

ていた時代から、DCS-SIS 統合システムはプラントの設計時からシングルベンダー（単独1社受託）により一括設計、発注するという顧客、メーカーの関係へのパラダイムシフトをもたらした。

従来は欧米の設計コンセプトに日本 DCS メーカーが追従してきたが、現在はこのパラダイムシフトに欧米の DCS メーカーが追従してきている。今後もプラントの安全確保は、人命や環境、財産の保護のための重要課題であるが、同時に生産性のさらなる向上も求められる。それらを両立できるシステムを提供し続けて、より豊かな人間社会の実現へ貢献してゆく。



ProSafe-RS外観(冗長構成時)  
上段:セーフティコントロールユニット  
下段:セーフティノードユニット  
(出所)横河技報Vol.49 No.4 (2005)

図 2-23 ProSafe-RS 外観

#### 【公表資料】

・横河技報 Vol.49 2005 安全システム特集号

<http://www.yokogawa.co.jp/rd/rd-tr-049-04-ja.htm#004>

### 2.13 化学合成人工抗体バイオ技術の海外スピンオフベンチャー設立による事業化(富士通研究所、APTA)(2014 年度会長賞)

本案件は、独自の人工抗体技術の開発と、その成果を国内外のオープン・イノベーションで検証し、社外にベンチャーを作る形で 2013 年にスピンオフとして事業化したものである。

#### 2.13.1 概要

富士通研究所は、病気の検査に必須の抗体(関連世界市場:7,000 億円)の代わりとなる完全化学合成の人工抗体技術の開発に挑戦した。本技術は、化学的に安定な特長から、冷凍保管の必要が

なく、再現性良く大量生産ができる。実現すれば途上国での常温流通が可能で、デング熱やエボラ出血熱のような感染症(世界市場:2,600 億円)が簡易に診断可能となり、水際での検出、拡大の防止に大きく寄与することができる。

基本技術確立後の技術検証と事業化に移行する過程で、自社内での事業化が難しいとの判断に至ったものの、実用化すれば幅広く社会に貢献できる技術であるため、最適なパートナー、ロケーション、スキームを探索し、国内外でオープン型の活動を進めた。その結果、シンガポールに進出し現地での成果を生かして英国の起業家とベンチャーを共同設立した。約 2.5 億円の投資により感染症やがん向けの免疫検査の実用化を進めている。さらに、治療薬(1品目で 5,000 億円)に向けた研究を開始することとなった。

#### (1) 研究開発の動機

富士通/富士通研究所は、生活者に向けてヘルスケアを IT システムで支援する際のフロントエンド・インターフェース・デバイスとして、疾患マーカーなどのタンパク質を簡易計測する技術の開発を 2003 年に開始した。今日、疾患マーカーの検査には抗体タンパク質が用いられるが、家庭などでも簡易に使えるようにするには室温でも保存できる系を作ることが不可欠なため、安定性に優れる DNA を素材とした新しい材料とこの材料で作製した有用分子の選別技術の開発に着手したものである。

#### 【着手時期】

2003 年1月研究開発に着手、2003 年 3 月から 2006 年にかけて NEDO 助成を受けて基本技術開発を実施。

#### 【技術シーズ】

富士通が独自に着想した多種類のアミノ酸の修飾側鎖を DNA に導入することを可能にするコア技術「ブロックコーディング法」に基づいて、会社内外から必要な人材を集め、参画した研究員の異なる研究分野における経験や知識をもとに、ブロックコーディング法の実証に必要な新規材料の開発と、有用な Selected Oligonucleotides (以下、SELIGO) を選択する手法の開発を進めた。

#### (2) 外部との連携

富士通内で基本技術を確立した後、適用研究のため外部との連携を以下のように進めた。

- ・名古屋大学予防早期医療創成センター(2006 年 4 月～2010 年 3 月)
- ・Experimental Therapeutics Centre (ETC), A\*STAR, Singapore (2008 年～2013 年)
- ・Department of Microbiology, Singapore National University (NUS), Singapore (2010 年～2014 年)

#### 【外部資金】

2002～2005 年度:NEDO 助成事業「バイオ・IT 融合機器開発プロジェクト」に採択され、助成を受けて基盤となる技術の開発を進めた。

2006～2009 年度:協働企業のうちの1社として、名古屋大学における先端融合イノベーション拠点

形成プロジェクトに参画し、本件 SELIGO 技術の適用事例を開発した。

2010～2014 年:共同研究契約を通じて ETC、NUS が A\*STAR/ETPL から受託した SELIGO の応用に関する COT (Commercialization of Technology) プログラムに参画し、SELIGO の適用事例を開発した。

#### 【産学連携】

・SELIGO と標的タンパク質複合体の結晶構造解析で京都大学理学部と共同研究を実施(2008 年度)

・名古屋大学における先端融合イノベーション拠点形成プロジェクトに参画し適用事例を開発(2006～2009 年度)

#### (3) 市場化時期

2009 年:SELIGO の開発受託サービス、ならびに製造受託サービス事業を開始。

2013 年 8 月:SELIGO 技術を事業化するためスピンアウトベンチャー Apta Biosciences (以下、APTA)を設立し、事業開拓を本格化。

なお、APTA は、診断薬、治療薬の開発製造販売をする企業に対して、上述の受託サービスを行うほか自社や産学連携で開発した SELIGO を製造販売/ライセンス提供する事業を行ういわゆる BtoB に特化したビジネスの開拓を進めている。医療や介護、健康管理の現場への SELIGO の今後の浸透は、これらの取引先企業の事業を通して行われる。

### 2.13.2 取組みによって生み出された変化

#### (1) 製品の変化

現在普及している抗体と比較すると、冷凍・冷蔵保存が不要である SELIGO の特性に由来して、取引先企業の製品の流通経路の簡易化や有効期間の延長が期待されるほか、コールドチェーンが整備されていない開発途上国等への取引先企業の市場拡大に貢献できる。

抗体の新たな治療薬応用形態である抗体薬物複合抗がん剤 (ADC、Antibody-Drug Conjugate) では、抗体に導入する薬物分子の位置や数を厳密に制御できないことから生じる ADC 化合物の多様性を排除できないことが、治験ならびに治療薬許認可を受ける過程で大きな障害になっている。SELIGO では保護基を活用して活性部位や導入量を制御するため、抗がん剤担持抗体 (ADC) における課題を容易に克服できるため、有望な製品形態の一つとして期待が寄せられている。

#### (2) 顧客の変化

SELIGO を用いた最終製品 (診断薬、治療薬) の顧客層は抗体と同様であり変化はない。しかし、安定性に優れる SELIGO の特性を活かすことで、コールドチェーンの整備が整っていない発展途上国などへの展開が容易になることが想定され、グローバルでの顧客層拡大に資することができる。

なお、APTA 社はビジネスモデルとして、最終製品の製造販売は APTA の直接顧客たる企業に任せ、新しい SELIGO 開発と SELIGO 原末の製造販売に特化した事業を指向して活動している。

### (3) 生産方式の変化

従来技術である抗体(モノクローナル抗体)は、確立したハイブリドーマ株を失わないよう冷凍保存しておき、必要に応じてハイブリドーマを動物の腹腔や細胞培養タンクで培養し、抗体を収集、精製している。

これに対し、SELIGO は DNA 自動合成機を用いて化学的に合成され、その後の精製も化学的に行われる。これにより、無菌環境で細胞培養するなど現在の抗体生産に必須な煩雑な操作が不要であるとともに、大量生産が容易になるほか、品質管理面での貢献も多大である。

### (4) 供給源・調達の変化

抗体の製造・調達は、前項で述べたように細胞培養と細胞破砕物からの抗体生成を必要としており、このためのインフラコストが課題となっている。この課題を克服するため、抗体医薬品製造では大規模な培養タンクを擁し、抗体受託製造を専門とする企業が出現している。それでもなお、高い材料コストと製造リードタイムの長さが課題である。

これに対し、SELIGO は低分子量の原料を保存しておき、必要に応じて SELIGO を化学合成し、これを分離精製することで製造することができる点で、抗体製造でみられる課題を異なったアプローチで解決することができる。富士通研究所が設立した APTA では、SELIGO の合成に必要な原材料(各種修飾塩基アミダイト)や SELIGO 分子の化学合成・精製などのコア技術は内製化を進める一方で、各種の材料分析、動物実験、データ分析については外部リソースを使うことで投資を抑制しつつ、スピードアップを実現している。

### (5) ビジネスモデルの変化

従来の抗体の開発では、顧客から送られてきたサンプルをもとに受託で動物や細胞を使って開発する形態が多かった。そのため、顧客の秘密情報(サンプル)を入手する手間や、受託開発した抗体が、顧客の使用条件では、同じ性能が出ない等の問題があった。安定な SELIGO 技術を用いることで、顧客のもとで、顧客自らが SELIGO 開発工程を担当し、開発物を APTA が製造するビジネスモデルを適用することが可能となった。

顧客の使用条件と同一の環境で開発することが可能となるとともに、秘密情報であることが多い顧客のサンプルを受け渡しする必要がなく、広くビジネスを拡大することが可能となった。

### (6) 組織の変化

以下のような変遷を経て、スピンオフベンチャーの設立に至った。

2003 年～2010 年:富士通研究所・富士通において技術開発ならびに事業開拓を進めた。

2010年～2013年7月:富士通アジアの研究開発部門として技術開発ならびに事業開拓を進めた。

2013年8月以降:APTAが業務を引き継いだ後、研究開発部門に加えて、オペレーション部門、品質管理部門、経理人事等支援部門を整備した。また、顧客対応力の向上に向けてISO9001認証取得に必要なマニュアルなどの整備を進めている。

### 2.13.3 事業化・アウトカム

#### (1) 事業化までの困難性

本技術は、生活者向けヘルスケア管理システムのフロントエンドインターフェースへの適用を想定して研究に着手したが、要素技術確立とシステム実現との時間的整合がとれないことから、2006年末時点で、社内適用を断念した。

しかし、開発した技術は実用化に成功すれば、免疫検査分野へのインパクトは大きい。社内での事業化に限定せず、材料の特長を活かし SELIGO 開発サービスを行うスピニアウトベンチャーによる実用化との方針で社内の了解を得た。国内ベンチャーキャピタル（以下 VC）各社に技術の特長を訴えて出資アプローチを行ったが、適用事例や顧客事例が不足しており、出資を得るに至らなかった。また、IT企業である富士通研究所内では、適用事例を増やす開発にも限界があった。

#### (2) 上記困難を克服するためにとったアクション

投資家の信頼を得るためのエビデンス不足解消のため、国内トライアル商談の獲得に力を入れるとともに、適用事例や顧客事例を増やすため、バイオの研究開発に積極的なシンガポールへ2010年にラボを全面移転して A\*STAR 資金による現地での共同研究を進めた。結果として、国内外の研究機関との事例開拓が進み、また、シンガポールを拠点としたグローバルなビジネス展開も視野に入ってきた。

これら蓄積した結果を基に 2011 年末からベンチャーキャピタルへのアプローチを再開した。すでにシンガポールで英語ベースでの活動を行っていたことから、ベンチャー投資に積極的な欧米を中心に全世界 80 社を超える VC にコンタクトを行った結果、2012 年末に英国の起業支援会社 Anglo Scientific のデューデリジェンスをパスして、スピノフ企業 Apta Biosciences の設立準備に移行した。

諸準備が整った 2013 年 8 月 1 日付けで業務を移管し、ベンチャーとしての活動をスタートさせるに至った。

SELIGO 技術は、ヘルスケアシステムへの適用を断念して当初開発企業のノンコア技術となったものの、開発チームは、研究成果の持つポテンシャルの高さを確信し、研究チームを中心にビジネス実証を重ねた。

富士通/富士通研究所は、社会への貢献と言う観点から、必ず世の中に出して行くべき技術との判断のもと、期限を切って予算、人材面のみならず VC へのアプローチやトライアル商談活動を支援し

て、スピンオフ事業化と事業立ち上げを支援した。

またシンガポールに移転した後は、この研究チームを富士通アジアの研究開発部門と位置づけ、A\*STAR やシンガポール国立大学との共同研究開発を支援し、結果として、SELIGO の有用性を第三者の評価において実証することに成功し、スピンオフ成功の足掛りとなった。

### (3) イノベーションによって生み出された新たな売上高と雇用者数

起業から1年間の売上高:SGD150,000.00。

常勤雇用者数:2013年8月1日時点で6名、2014年8月1日現在で15名。

#### 【社会への影響(効果)と今後の展開・展望】

免疫検査分野においては、コールドチェーンの整っていない開発途上国での診断法の普及に SELIGO が大きな効果をもたらすと見込んでいる。特に昨今開発途上国を発生源とした感染症(感染症免疫検査世界市場:2,600 億円@2010)は、世界的な脅威であり、オンサイトでの簡易な検査法や水際での検出、拡大の防止が喫緊の課題であり、SELIGO の果たす役割は測り知れない。

先進国でもがん等の家庭やベッドサイドなどいわゆる Point-of-care での免疫検査(世界市場:4,400 億円@2010)の普及に大きな効果があると考えている。

現在、特にこの 2 つのターゲット(感染症、がん)に対して実用化に向けた開発を進めている。さらに、血流中で安定性の高い SELIGO の特長を活かし、治療薬を疾患部位に届けるためのターゲッティング分子として、あるいは患部造影のためのイメージング薬としての応用も想定される。

以上のような長期的な体内診断用途の施策と、中期的な体外診断用途、さらには研究試薬等の短期的用途を組み合わせ、堅実な事業基盤を作るとともにアップサイドのビジネス展望を構築して SELIGO ならびに派生技術を活用した事業の成果を社会で役立てていただくとともに企業の価値向上に務めていきたい。

#### 【公表資料】

・平成 23 年度科学技術分野の文部科学大臣表彰・科学技術賞研究部門賞受賞

[http://www.mext.go.jp/b\\_menu/houdou/23/04/\\_icsFiles/afldfile/2011/04/21/1304367\\_2\\_1.pdf](http://www.mext.go.jp/b_menu/houdou/23/04/_icsFiles/afldfile/2011/04/21/1304367_2_1.pdf)

他

## 2.14 自動車の次の 100 年に向けた MIRAI の開発(トヨタ自動車)(2015 年度文部科学大臣賞)

### 2.14.1 概要

トヨタ自動車は、新型燃料電池自動車(FCV)「MIRAI」を開発し、2014 年 12 月 15 日に発売した。MIRAI は、車両タンクに搭載した圧縮水素と空気中から取り込んだ酸素を燃料電池(FC)に供給して

化学反応させることで電気を発生させ、その電気でモーターを駆動して走るクルマである。走行中は、「CO<sub>2</sub> や環境負荷物質を排出しない」という優れた環境性能をもつとともに、「現状のガソリンエンジン車と同等の利便性」を兼ね備えており、サステナブルなモビリティ社会の実現に貢献する、究極のエコカーである。さらに MIRAI は、環境問題・石油の枯渇問題・エネルギー保障問題の解決につながる自動車自身のイノベーションと、FCV を適用の第1歩とする輸送機器や発電に水素を使う社会構造のイノベーションをもたらすと期待されている。

水素は第1に、使用時のCO<sub>2</sub>排出がないので、ある意味、低炭素社会実現の担い手になり得るエネルギー源である。そして第2に、多様な1次エネルギーから製造可能なことによって非常に多くの量を確保できることである。天然ガスなどの化石燃料から、もちろん未利用の下水汚泥からなども製造できる。第3に、電気に比べてエネルギー密度が高く、貯蔵・輸送が容易である。エネルギーキャリアとして、水素が非常に高いポテンシャルを持っていてマクロの観点で、国などのエネルギー政策などにおいて大変注目されている。

車は限られたスペースでいかに多くのエネルギーを積めるか、それが車のユーティリティ、さらには航続距離に直結する。この観点は非常に重要である。体積あたり重量あたりのエネルギー密度の高い源を活用する必要がある。電気、電池については、リチウムイオン電池などを主に高容量化が進んでいくと予想される。それに比較して、今回扱う水素は体積エネルギー密度で約7倍の性能を持ち、水素に大きな期待が持てる理由である。

水素は、われわれトヨタがサステナブルなモビリティ社会、継続的に車を活用していただけるような社会を考える上で、将来の有力なエネルギーであると考えている。

#### 【開発の経緯】

FCV は、今から 24 年前の 1992 年に開発をスタートした。プリウスを世に出したのは 1997 年、プリウスの開発はその 4 年前頃から始まっており、ある意味トヨタにおける FCV の開発はハイブリッド車プリウスの開発よりも前であった。当初はまだパワーが出ず、本当にトトロと走る FCV であったが、これを大阪のセレモニーに初めて出すことができた。そして 2002 年に世界に先駆けて日米で限定販売し、当時の小泉総理のもと、確かホンダと一緒に納車した。その後、2005 年に型式認可、そして 2008 年に FCHV-adv という SUV 系の車、100 台程度を日米で販売した。これで、それぞれの車が 2 万キロ以上の走行実績が上がり、この市場データをフィードバックするなどのステップを踏むことが出来、この MIRAI につながった。

1992 年 燃料電池スタックの開発開始。

1996 年 水素を燃料とする FCEV を発表。

- 2001年 水素吸蔵合金タンクを搭載した「FCHV-3」を発表。
- 2002年 日米で世界初の「トヨタ FCHV」限定リース販売を開始。
- 2005年 型式認証を取得した新型「トヨタFCHV」の限定リース販売を開始。
- 2008年 進化した燃料電池システムを搭載した「トヨタ FCHV-adv」の限定リース販売を開始
- 2013年 次世代燃料電池自動車「TOYOTA FCV CONCEPT」を東京モーターショーに世界初出展
- 2014年12月 「MIRAI」国内販売開始
- 2015年10月 「MIRAI」海外販売開始

## 2.14.2 技術の概要

### (1) 車両コンセプトの確立

燃料電池車ではまず、水素を水素ステーションで高圧タンクにチャージする。そして空気中から取り込んだ酸素と水素を、燃料電池内で化学反応させこの電気でもーターを動かして走る。加えて、駆動用バッテリーを搭載しており、モーターで、減速時に回生発電しこのバッテリーをチャージする。あるいは、走行時燃料電池が効率良く発電している時に駆動用バッテリーをチャージする。そしてパワーが必要な時には燃料電池からの電気と、この駆動用バッテリーから、ある意味ツインパワーでもーターを動かす。燃料電池は、電池とは言うものの電気を貯めるのではなく、発電を行うジェネレーターである。この発電を行う燃料電池と駆動用バッテリーのハイブリッド構成が特徴である。

水素は燃料ではあるが、内燃機関のように燃焼させているわけではなくて、化学反応でエネルギーを得ている。その分、効率が良いシステムになる。先ほどエネルギー密度に触れたが、気体のものは電気に比べて7倍で、液体はさらにその7倍ある。一方で効率面から見ると、内燃機関で液体燃料を燃やす場合に比較して、気体での化学反応は優れており、非常に高効率なシステムになる。そこでこのシステムを搭載させてMIRAIを作ったものである(図 2-24)。

トヨタ MIRAI の車両のコンセプトを図 2-25 に示す。車を企画する場合には、どういう車にするかが一番に考える。コンセプトは『H2 Pioneer for the Next Century』、今日のタイトルにもあるように、車の次の100年のために水素社会実現の先駆者となる車ということで、これをキーワードに掲げて、車を開発してきた。

車は過去100年間、電気から始まって蒸気を利用するなど色々な方式があったが、内燃機関がある意味、車の便利さを引っ張ってきた。フォードの大量生産などの寄与もあり、内燃機関はハイブリッドも含めてまだまだ主役である。しかし、将来を考え、次の準備をする必要があり、象徴的に次の100年のために水素社会実現の先駆者となるクルマを開発テーマに掲げてきた。



図 2-24 トヨタの燃料電池車 MIRAI

Key word **“H<sub>2</sub> Pioneer for the next Century”**  
 自動車の次の100年のために水素エネルギー社会実現の  
 先駆者となるクルマ → これまでになかった新しい価値を提供

1. 小型、高効率な新開発FCシステム
2. 実用的なセダンパッケージ
3. 一目でFCVとわかる専用先進デザイン



図 2-25 車両コンセプト

このテーマを実現するための要素は3つある。1つは新開発のFCシステム、2つ目は車のセンターとなる実用的なセダンパッケージ、これが出来れば、当然、他の車種への展開等もできる。そして3つ目は先進的なデザイン。やはり車は魅力的であって、それを走らせたいのでインフラをつくりたいと、そうやっていただけるような車にする必要があるとわれわれは考えた。

車を造ったら、皆さんに乗っていただけるわけではなく、インフラが必要になる。インフラを必要とするクルマならではのいろいろな取り組みをしており、それを簡単に紹介する。

1 点目は先行車の公開試乗会を実施したことである。自動車メーカーは試乗会を販売直前に行う。しかし、今回は販売する 1 年以上前の 2013 年 10 月に先行車の公開試乗会を実施した。これは、われわれ車会社がどこまで車を開発できているか、その車がどれだけのポテンシャルを持つかということ、現地現物で皆さんに見ていただくということであり、車を見に来ていただくと同時に、水素ステーションにも来ていただき、チャージの短さ、3 分で充填できる、そういう姿をお見せしたわけである。ただこの頃は、本当にトヨタは水素をやるのか、と記者の方々からリスクが大きいという声があった。

そして取り組みの 2 点目が、発売開始の半年前に、開発進捗報告会という名で、販売開始タイミングと価格イメージについて、「2014 年度中に販売します」「価格は 700 万円程度で出します」と公表し、最終モデルを実際にお見せしたことによって、より現実感を持っていただけたと思う。

そして 3 点目は、普通、環境車ではやらない場所で性能をアピールしたことである。全日本ラリーの新城ラリーのダブルゼロというコース確認の車に、社長、豊田章男、自らが乗ってラリーの現場コースで走ったことである。これには裏話があって、普段から社長はファン・トゥ・ドライブを言っており、この車について「環境車だから環境性能がいいのを自慢しては駄目だ。そんなことは当たり前だ。いかに本当にいい車か、楽しい車かをしっかりと訴求しろ。」そして、さらに、「水素で走ると、安全性は大丈夫なのかということも多くの人から聞くよ。より安全性と高性能を問われる過酷な環境のラリーで使う車を作ってくれ。もし、作ってくれたら、私とそのラリーカーを自ら運転して、この車のファン・トゥ・ドライブ、楽しさとか、いわゆる信頼性、耐久性で優れているところをアピールしよう。」と言われた。発売 1 年前に起きたこの出来事を受けて社員が奮起して実現させたのがこの MIRAI である。

この頃は車名を発表しておらず FCV としか書いていない。「MIRAI」という車名は最初から決まっていたわけではなく、当初は別の名前が用意されていた。その車名は言えないが、営業側から当初の名前を社長に決裁を持っていった時、皆が決めた車名ならサインすると、一旦は決裁された。しかし、「この車の意義を考えると、もっと違う車名を考える必要はないのか。」と言われ、このことを受けて、期限ぎりぎりまで 3 か月間、社員が悩み抜いて、MIRAI という車名にたどり着き、再度、決済をもらったというエピソードがある。「MIRAI」には社長と社員のこのクルマに託した熱い想いが込められている。

## (2) トヨタフューエルセルシステム

さて MIRAI のセリングポイントは、① 20 年以上にわたる開発の集大成～コンパクト、高性能な新開発トヨタ FC システム、② 一目で MIRAI とわかる先進内外装デザイン、③ FCV ならではの Fun to Drive～加速、ハンドリング、乗り心地、静粛性、④ 新装備～災害時に力を発揮する大容量外部電源

供給システム、といった諸点にある。

車としては、環境性能はもちろん、それ以外の魅力を紹介する。1 点目は何と言ってもフューエルセルシステムである。燃料電池にとっては、コンパクトでハイパワーを出すということが、非常に重要である。トヨタ自動車では、このようなコア技術、主要技術は自社内で開発し、自社内で作るという方針でやっている。何でもかんでも抱え込むという意味ではなくて、しっかり技術を手の内化し、信頼性確保、さらには低コスト化という将来的に広げることを責任もって行うということである。

新型 FC スタックでは、長年の研究開発で高出力密度化を達成してきている。2002 年、2008 年、そして今回の MIRAI と、体積当たりの出力密度は着実に向上し、世界トップレベルを実現した。

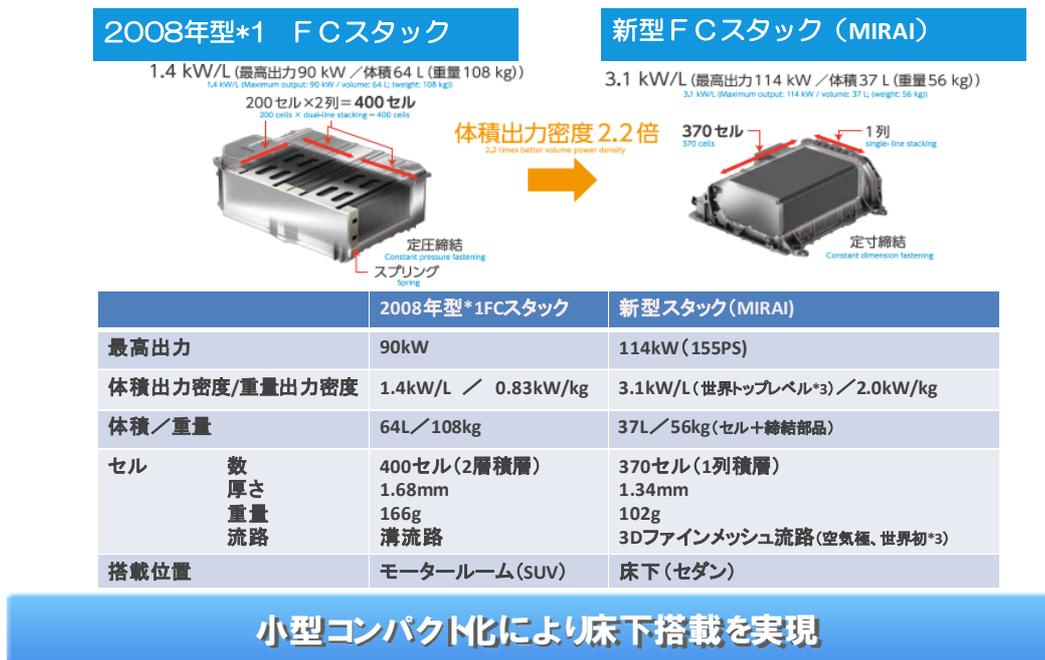


図 2-26 トヨタ FC スタック

その中身を図 2-26 に示す。右側が新型のスタックになるが、パワーは 114kW (=11 万 4,000 ワット) になる。燃料電池というと、よく「家庭用燃料電池は何万台も出ている、それなのに、なぜ車の燃料電池はそんなに難しいのだ。」と言われる。実はパワーが違う。家庭用燃料電池は、大体 700W から 1kW 程度と小さい。一定運転でお湯を沸かしながら電気 1kW を発電し続けるという、それはそれで高効率的なシステムであるが、車では小さすぎて走れない。160 倍ぐらいのパワーをコンパクトなところで実現する必要がある。そしてお客さまが運転時に、アクセルを踏み込まれたら、一気に出力を立ち上げる。そういう意味において、出力をいかにうまく出せるかがポイントとなっている。

図 2-26 の FC スタックは、厚み 1.3~1.4 ミリのセルが 370 枚、直列につないで出来ている。直列なので、当然 1 枚でも欠陥が起こればアウト。その意味においても品質管理が非常に重要である。

図 2-27 と図 2-28 にセルの開発における要点を示す。図 2-27 には流路構造を一新していることを示した。この燃料電池のセル、それは片方から酸素が来て、片方から水素が来るもので、実は酸素が来る側の流路が今回の一つの大きなポイントになる。酸素の来る方は、水が出る。触媒の白金が混ざった、酸素分子が触れ活性化するための場所に水が出る。その水がとどまっていると、酸素が触れられなくなり発電効率が落ちる。動作効率よく水を排出しながら、酸素をより高効率に触れさせるかという流路が非常に重要である。

セルにはコンマ 1~2 ミリの厚みのチタンプレート、いわゆるチタンの箔を用い、この薄い箔に 4 万個以上の 3D の流路の穴をプレスで開ける。これは難しい技術で、この技術は世界初である。水素の流路も非常に微細な流路で、水素を触媒に、非常に効率的に反応させるため、プレス技術でチタンを精密成型する。

さらにチタンの板で仕切っており、都合 1 枚のセルにチタンの板が 3 枚あり 1 台のスタックを作るだけでも 1,100 枚を超えるチタンの板が必要である。たとえば 1,000 ユニットを作る場合は 100 万枚以上のチタン板を精密成型する必要がある。

もう 1 点が、図 2-28 に示す電極である。電極は、このセルの中央にある、いわゆる電解質膜で、燃料電池の心臓部となる。触媒層の触媒は水素を水素イオンと電子に分ける。電解質膜は、水素イオンは通すが、電子は通さず、外を流れる。まさにこれが発電の仕組みである。この電解質膜は、厚みが 10 ミクロンぐらいで、非常に薄いサランラップのイメージである。高分子膜の薄さがプロトンの伝導性に寄与する。こういう薄い膜に触媒を転写し、張り付けることで製品化が実現できる。しかし製造過程で、もしこの膜に穴が開いたらアウトで、微細なピンホールすら許されない。

また、触媒のプラチナ量を減らすため、コバルトとの新たな合金触媒を開発することで、プラチナ使用量を 3 分の 1 に減らした。このような技術を合わせて、ハイパワー、コンパクト化が実現した。

もう 1 点は図 2-29 に示す高圧水素タンクの軽量化である。タンクに関する技術も重要性が高く、内製で開発をしている。樹脂のライナーにカーボンリボン巻くことで強度を出す。表面はガラス繊維で傷付き防止を行う。ここで巻き方と口金形状を工夫することで、タンク壁の厚みを大体 4 割ぐらい減らすことができ、カーボンリボンの使用量を減らすことができ、軽量かつ安価なタンクができた。

高圧水素タンクは、安価とか軽量より、当然のことながら、安全性が一番重要である。このタンクの強度は極めて高い。実際の衝突動画映像を用意してあるのでご覧頂きたい。このように時速 80 キロ以上でぶつけると、車は当然グシャグシャになるわけであるが、下のタンクは一切変形しない、車以上に極めて強いタンクである。

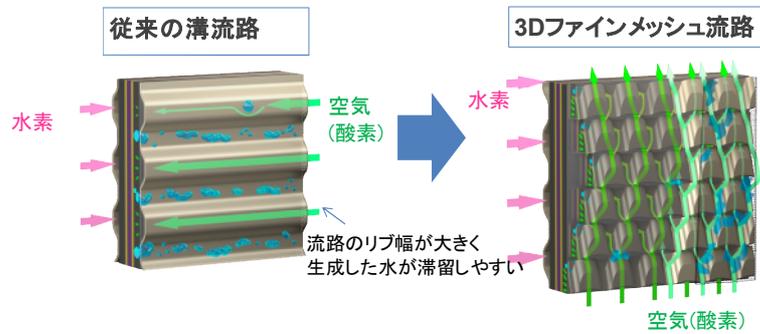
## セルの開発

### ■ セル流路構造の革新(空気極)

3Dファインメッシュ流路により、排水性、酸素の拡散性を促進。

セル面内の均一な発電を実現

世界初



セル流路と電極の革新により発電性能を向上

図 2-27 セル流路構造の革新

## セルの開発

### ■ 電極の革新

電解質膜の薄膜化、ガス拡散層の拡散性向上、触媒の高活性化により電極反応の大幅な向上を実現

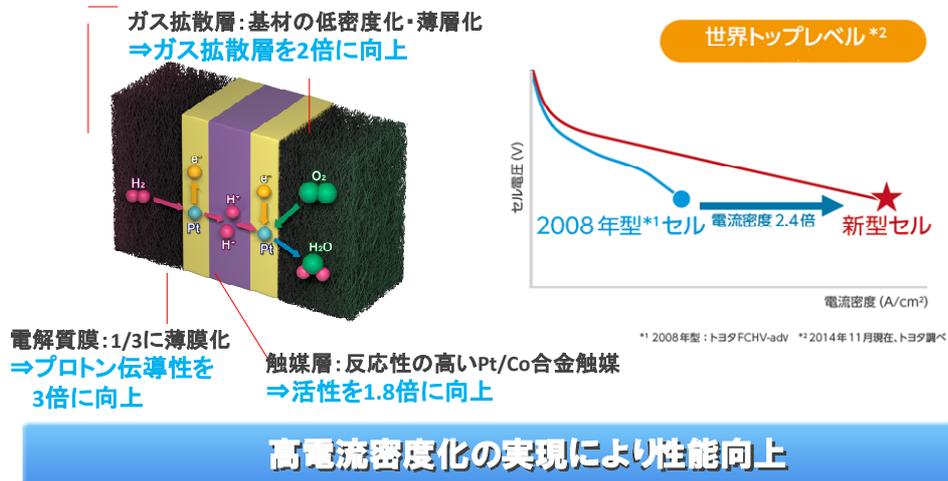


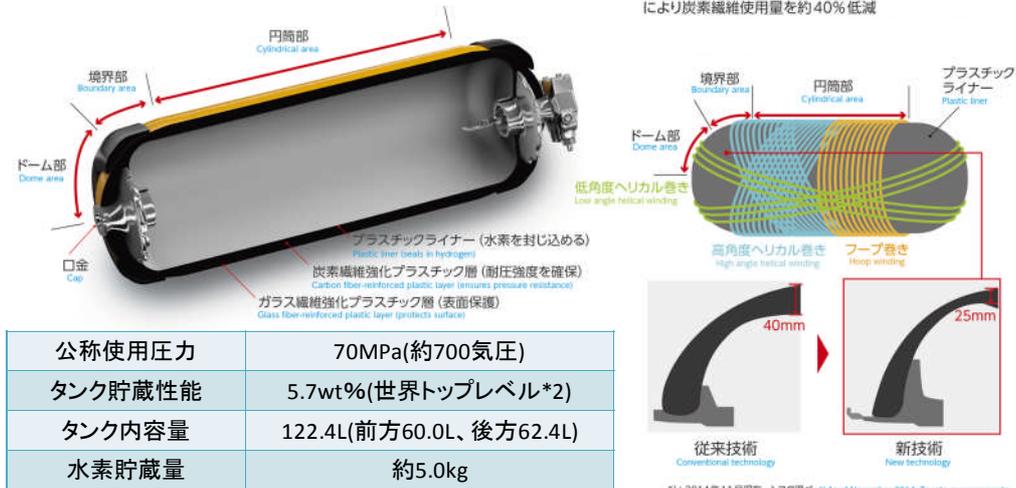
図 2-28 電極の革新

## 高圧水素タンク

炭素繊維強化プラスチック層構成の革新により軽量化  
世界トップレベル\*2 のタンク貯蔵性能5.7wt%を実現

世界トップレベル\*2  
World top level\*2

プラスチックライナー形状の改良と積層パターン効率化  
により炭素繊維使用量を約40%低減



## 高圧水素タンクの性能向上と低コスト化を実現

図 2-29 高圧水素タンク

車全体のシステムとしては、2次電池、モーターが要り、今回のポイントは、このFCの昇圧コンバーター。トヨタのハイブリッドシステムは、昇圧技術を用いて、電圧を高めることでモーターの小型化、電池の小容量化を実現している。昇圧した電圧は 650 ボルトであり、この技術を用いることで、モーターを小型化できると同時に、この 650 ボルトという電圧は、トヨタのハイブリッドシステムと共通した電圧とし、電池だとかモーター関係は、量産実績のあるユニットを使うことができるようにした。モーターはRX450H というハイブリッドのモーター、さらにはインバーターも RX のインバーターをそのまま活用できた。これによって信頼性の確保と、開発期間の短縮および低コスト化が実現でき、充電時間は 3 分程度、航続距離が 650 キロという高性能を得ている。

ファン・トゥ・ドライブについては、走りの楽しさ等々を考えながら、環境性能を含めしっかりとやる必要がある。燃料電池を運転席の下に積み、後席の下にタンクを積んでいる。重いものを真ん中に積むことで、低重心で前後ウェイトバランスの良いミッドシップレイアウトのような特徴を持たせている。このことでフロントドライブでありながらコーナリング時など優れたハンドリング性能を実現する。

さらに、よく車のねじれ剛性が高い車が良いと言われるが、こちらについても、燃料電池を搭載する特長を生かして、高剛性にこだわった。特に燃料電池スタックを積む上においては、このスタックフレームというものを付けて、これも炭素繊維(CFRP)で作った、非常に固いフレームを使って、裏からのいわゆる突き上げ等にも対応でき、同時に車のねじれ剛性にも影響している。トータルで車として

は、代表的なトヨタの FF 車に対して、6 割ぐらい剛性を向上させた。これによって非常にどっしりとした、ハンドリングに素直に反応するボディーが実現した。空力にもこだわっている。

デザインは一目で MIRAI とわかるデザインとしている。是非、実物をご覧頂きたい。

### (3) FCV ならではの新機能

新機能としては、発電をした電気を外部に出せる機能を搭載している。外部給電機能である。この機能を搭載することで、ある意味災害時に非常に心強い味方になる。

水素社会に向けたチャレンジについては、燃料電池というシステムは、トヨタだけでできる話ではない。報道されているように、思い切って関連特許を全て無償で実施権を提供するようにした。正にこれは、水素社会の実現に向けいろいろなプレーヤーに入って頂きたいというメッセージである。

そしてステーションの初期運営は非常に厳しく、日産、ホンダと合わせて、自動車会社が初期のランニングをサポートしたいということで、整備支援を発表した。

#### 2.14.3 まとめ(水素エネルギー社会実現に向けて)

トヨタが MIRAI という FCV の普及を通じて、実現したいのは水素社会の実現である。再生エネルギーを電気、水素をうまく使いながら、種々のエネルギーをミックスさせ、より良いエネルギー社会を作っていくこと、これがある意味、われわれが実現したいことであり、それに燃料電池車も貢献できればと考えている。

FCV がもたらすイノベーションは 2 つある。当然のことながら、車自体でのイノベーション。この車が環境問題をクリアして、クルマを安心して皆さんにまだまだ使っていただけるように、車を根本的にイノベーションするという「モビリティのイノベーション」、そして、もう一つが「水素社会へのイノベーション」である。後者の「水素社会のイノベーション」への MIRAI の貢献について、事例を示す。

下水汚泥を利用した水素の製造プロジェクトがある。福岡の中部水処理センターという所で、下水汚泥からメタンガスを発生させて、水素を作るというプロジェクトがスタートした。これは昨年の平成 27 年 3 月に完成した。工事が始まったのが一昨年の 7 月で、従前から構想はあったが、このステーションができるきっかけは、MIRAI という水素を使う車ができたからとのことである。

もう一つの例として、横浜で風力発電を利用した水素製造とその利用が始まった。ここで作られた水素が、実際に市場や倉庫のフォークリフトのエネルギー源として燃料電池で使われる。MIRAI という車が先頭を走って、未来を照らす光となり、MIRAI がきっかけとなりいろいろなものに水素が使われる社会が実現される。水素というものがより可能性を持って社会に迎えて頂けることを願っている。

## 2.15 航空機用炭素繊維複合材料の開発(東レ)(2015 年度経済産業大臣賞)

民間航空機は、機体の軽量化が最も重要な課題であり、金属に代わる軽量材料が求められており、比強度、比弾性率が極めて高い炭素繊維複合材料(CFRP)が長年期待されてきた。航空機の翼や胴体などの一次構造材にCFRPを適用するためには、耐衝撃性に優れた高伸度、高靱性なCFRPすなわち、①弾性率が高く高強度な炭素繊維、②高靱性なマトリックス樹脂の開発が必要であった。

### 2.15.1 概要

炭素繊維は、木炭で出来た糸である。髪の毛の10分の1程度で、炭素分が90%以上の純度を持っている。代表的な特徴では、重さが鉄の4分の1、重量あたりの強さは鉄の10倍、剛性が高く、変形しにくい、錆びない、耐薬品性・耐熱性・耐低温性に優れるなどがあり、様々な機能を併せ持った繊維と言える。

### 炭素繊維の特徴

**TORAY**<sup>4</sup>  
Innovation by Chemistry

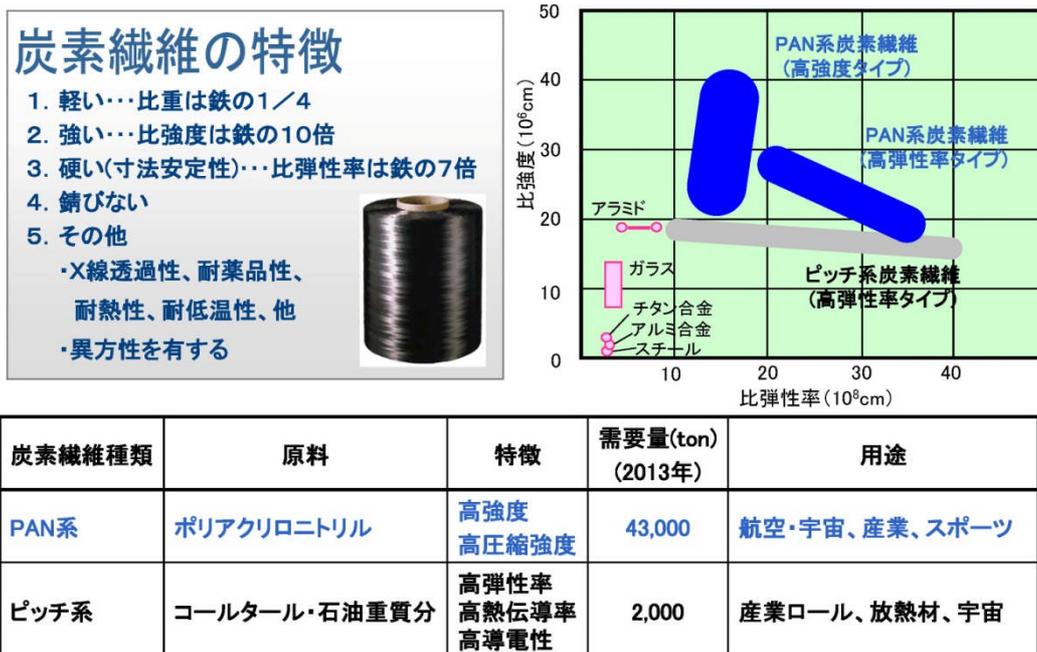


図 2-30 炭素繊維の特徴

図 2-30 に、各炭素繊維の比較表と横軸に重さあたりの硬さである比弾性、縦軸に比強度をとったグラフを示す。炭素繊維が、スチール、アルミ、チタンなどの金属や、ガラス繊維に比べ、格段に「強い」、「寸法安定性が高い」ことがお分かり戴けると思う。

炭素繊維には、その出発原料により大きく分けて 2 種類ある。PAN 系と呼ばれるポリアクリロニトリルを出発原料とする炭素繊維と、ピッチ系と呼ばれるコールタールピッチを粗原料とする炭素繊維である。航空機など機体構造部位として使用される炭素繊維としては、構造制御が容易な PAN 系炭素繊維が主流となっている。

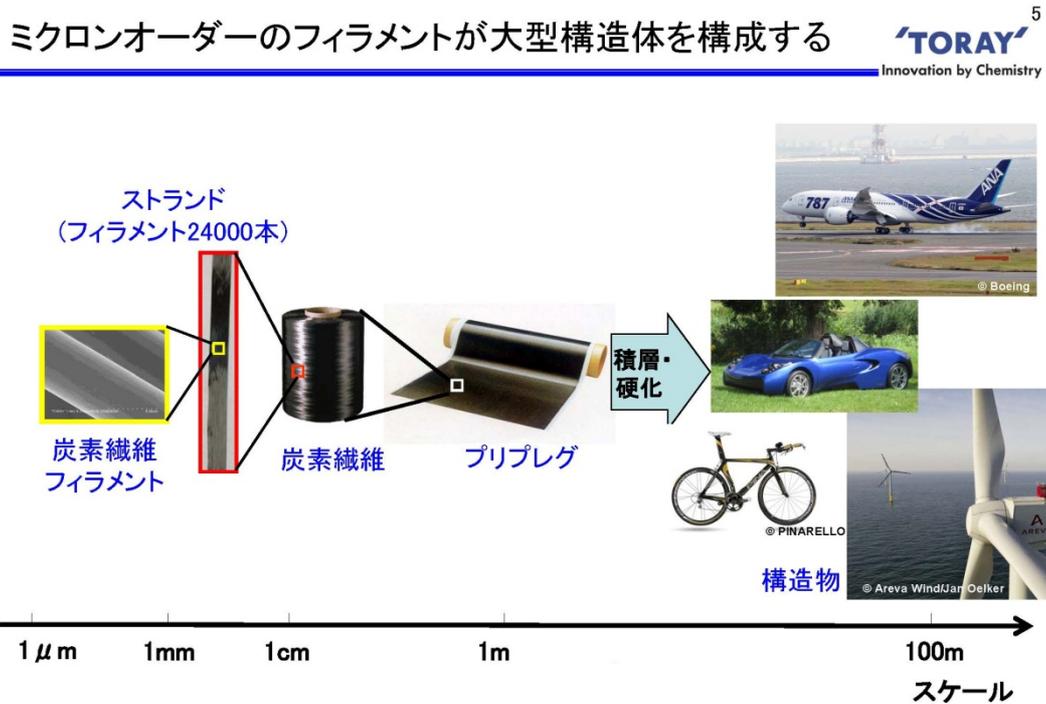


図 2-31 炭素繊維の構成

炭素繊維フィラメントは、直径 5 ミクロン程度で、髪の毛の 10 分の 1 程度の太さである。このミクロンオーダーのフィラメント 2 万本程度の集合体が大型構造体を構成し、炭素繊維製品として扱われる。

プリプレグの場合、これが多数本、引き揃えられ、樹脂を染み込ませたプリプレグシートとなり、多層積層・硬化して構造部材となっている。例えば、航空機の主翼の場合、おおむね 20 から 30 億本程度のフィラメントが翼にかかる荷重をささえているというイメージである。他の大型構造体も同じで、文字どおり「繊維補強構造体」となっている。

【炭素繊維市場の広がり】

商業生産開始以降の炭素繊維は、1971 年の生産を操業開始した時点では、市場は、極めて限定的な分野に限られた。その後、釣り竿や、ゴルフのブラックシャフトで軽量・高性能が証明され、テニスのデカラケなどに市場は広がり、スポーツ用途で先行した。