

イノベーションの促進要件としての「制約」

—日本のF2戦闘機における炭素繊維機体開発事例—

阿 部 靖 史¹

長 内 厚²

Regulations Encourage Innovation

— A Case of Japan's F-2 Fighter with CFRP Body —

ABE, Seishi

OSANAI, Atsushi

Abstract

We discuss a case of CFRP plane body development for Japan's F-2 fighter air plane and a relationship between regulation and innovation. Porter hypothesis doesn't only show that environmental regulation encourages innovation, but the other kind of regulations by policy and law also encourage product development and innovation. And we show the possibility of effective creation of product concept by the regulations.

要 約

本稿は、日本のF-2戦闘機開発における炭素繊維機体開発事例をもとに、制約とイノベーションの関係について論じたものである。ポーター仮説における環境規制だけでなく、政策や法律による制約下の製品開発においても、制約はイノベーションを促進するとともに、製品コンセプトの効果的な創造に寄与する可能性を示した。

1. はじめに

法律や政策などの各種の規制はイノベーションを阻害する外生的な制約となるという考え方がある一方で、こうした制約を内生的にとらえ、イノベーションを促進する役割を持つとの議論も存在している(有村・杉野, 2008)。ポーターはいわゆるポーター仮説において、適切な環境規制は新たなイノベーションの必要性を生じさせ、企業の研究開発活動が活発化するとし、イノベーションによる収益が初期投資

1 早稲田大学経営管理修士(専門職)、日本電気株式会社ナショナルセキュリティ・ソリューション事業部シニアエキスパート

2 早稲田大学大学院経営管理研究科教授

をカバーするイノベーションオフセットによって、企業により多くの収益をもたらす可能性を指摘している (Poter 1991; Porter and der Linde, 1995)。ポーター仮説は環境規制に限定された議論であるが、より一般的な議論として制約がイノベーションを促進するとした議論も存在する (楠木, 2001; 長内, 2006, 野中・徳岡, 2009; 2012)。

本稿は法的、政策的な要因で製品コンセプトが制約を受ける場合に、むしろイノベーションが促進されるプロセスについて、日本の防衛産業の事例研究によって探索的に論じたものである。

防衛産業は国家主権の存立に大きく影響するため、戦略的にも憲法や法律の上でも軍事技術の民生転用などによる自由市場での取引は規制される。また原則的に、米国の防衛産業は米国内に、日本の防衛産業は日本国内にその生産拠点が制限されている。しかし、米国の防衛産業が世界の防衛市場を相手に経済活動を行っているのに対し、日本は平和憲法⁽¹⁾とそのもとでの政策によって自衛隊の規模や活動範囲は制約されているため、日本の防衛産業は、その(市場)規模や活動範囲の面では大きな制約を受けている。

もちろん防衛産業に対しては、国から多額の予算が支出されており、市場における経済活動によってのみ民間の防衛産業が存立しているわけではない。しかし軍事費(防衛費)という観点で見ても、日本は米国よりもはるかに抑制的な予算規模であり、日本の防衛産業が米国よりも条件的に不利な状況下にあることは容易に想像できる。また自衛隊の組織としての性格上、活動範囲や活動内容が限られるため、開発する技術も専守防衛の域を逸脱しないように制約を受けている。このように市場規模だけでなく、政策的にも不利な環境条件に直面しているのが日本の防衛産業である。

研究開発投資は固定費なので、一般的には産業や市場の規模が大きいほど研究開発は有利になると考えられ (Kamien and Schwartz, 1982)、米国などに比べ相対的に規模の小さい日本の防衛産業における研究開発は不利な状況にあると考えられる。本稿では、その日本の防衛産業が、ある側面では米国以上の優れた技術や製品を開発しているということを日本の戦闘機開発における「炭素繊維強化プラスチック(CFRP)の一体成形加工技術」の開発事例から示し、“ある種の制約条件は、製品開発のコンセプトを先鋭化させてイノベーションを促進する”という可能性について、探索的な議論を提起したい。

2. 先行研究のレビューと命題の導出

2-1. 制約とイノベーション

イノベーションと制約の関係を示した既存研究は多く存在している。中でもイノベーションの促進要件として「制約」を取り上げた研究では、楠木(2001)や長内(2006)、野中・徳岡(2009; 2012)などが挙げられる。

例えば、楠木(2001)は、製品コンセプト(product concept)とはそれが提供する本質的な顧客価値を意味するとし、製品コンセプトが分化した単位は、それぞれに違った顧客価値を志向しているという意味で「価値分化」(value differentiation)と呼んだ。楠木(2001)は、その概念を「ある製品(サービス)システムないしそれを実現するための活動を、その製品システムが潜在的に提供しうる顧客価値

にもとづいて、いくつかの異なる部分へとより分けること」と定義している。そして「価値分化したいくつかの異なる活動部分がある物理的な制約の中に同時に押し込め、最終目的の共通性を確保しながらも、活動部分を競争的な緊張関係におくこと」を「制約共存」と定義している。さらに制約共存に置かれたそれぞれ異なる製品コンセプトは互いに競合しあい、更なる創造や進化を生み出すと論じている。ここでいう「制約」とは時間的・物理的・空間的な制約を意味しており、製品開発を例にとって、開発の予算や利用可能な開発スタッフの人数、市場化のデッドラインを制約条件としている。

また長内（2006）は、1997年～2002年のソニーにおけるテレビ事業の事例研究によって、既存領域と新領域とを両立させる新旧 R&D 間技術統合フレームワークを提示している。このケースでは、当初、既存事業部門において新規事業の開発を始めたものの、収益の源泉が既存事業によるものであったため、新規事業の重要性が低く、既存製品との棲み分けを意識せざるをえなくなり、市場に受け入れられない製品コンセプトに縛られてしまった。これを「既存事業とのしがらみが、新規製品の製品コンセプトに制約を与え、既存事業を保護する一方で、新規事業の成長を阻害していた」と分析している。その一方で、製品コンセプトの「多様化」の側面に着目し、新旧 R&D 間技術統合によって組織分離された新旧開発組織は、個々の製品開発を促進する効果が期待できるとしている。このケースにおける「制約」とは、製品コンセプトに対する組織的な制約条件といえる。

さらに野中・徳岡（2009；2012）では、「しがらみ」を「利益を生まずに負債化した関係性」⁽²⁾と定義し、ビジネス・モデル・イノベーション（BMI）が失敗する大きな要因であると主張する。また企業は自らの本来的な価値よりも、諸々の関係性に依存することによって創造する価値を見失い、しがらみに囚われ、自らの経済的価値を棄損してしまうというネガティブスパイラルに陥っていくと分析している。そして企業は自らのビジョンと価値命題を明確にして、強い信念でそれを推進する勇気を持つことが、しがらみに陥らないための方法であると論じている。ここで定義されている「しがらみ」とは、「制約」と同義であると考え、BMI を成功に導くためには、制約を乗り越える必要があると解することができる。

しかし、「制約」がイノベーションを促進するという積極的な機能を有し得るのであれば、「制約」は常に乗り越え、排除すべき障害ではなく、競争優位の獲得のために活用できる要素と位置づけることが可能かもしれない。

2-2. イノベーションと価値創造

防衛産業ではスピン・オフと呼ばれる民生への技術移転がしばしば行われる。一般的にイノベーションを起こした企業や産業では、それを持続するための戦略を考える。本節では、特に B2B における価値創造の特徴について論じている既存研究を提示すると同時に、イノベーションを継続的な価値につなげるためのストーリー（ビジネス・モデル）をどのようにつくるのかについても、同じく既存研究から探っていく。

延岡（2011）は、「価値づくり」を高度化するために「ものづくり」の重要性を説いている。その中では「技術的な強みによって独自性を持続させることが必要であり、特定の技術分野で長期的に鍛えら

れ、組織として蓄積した積み重ね技術こそが競合他社から模倣されない。それは高い競争力と業績を長期間にわたり持続させることに貢献する」と述べている。日本企業は技術開発を得意とする。ものづくりを価値づくりに結びつけるために、この技術開発を維持しなければならないし、そのためには顧客価値を創出できるという戦略と見通しが必要であると主張する。現在のような技術開発のイノベーション・サイクルが短い競争環境では、機能的価値だけでは企業は優位性を保つことは難しい。模倣されない持続的な競争力を身につけるためには、組織能力を高めて積み重ね技術を鍛え、意味的価値を創造しなければならないのである。

ある製品が機能的価値のみで競争された結果、顧客が認識する競合企業間の製品やサービスの差異を価格以外では判断しなくなってしまうコモディティ化に対して有効な手段は、この「価値創造」によって競争優位を獲得し、持続させていくことに他ならない。この価値創造と脱コモディティ化の連関については、以下の既存研究を確認しておきたい。楠木（2006）によれば「コモディティ化の本質」は競争によって製品やサービスの質が、価格というもっとも可視性の高い次元に一元化されていることにあるとする。そこで「カテゴリー・イノベーション」によってコモディティ化を克服しようと主張する。カテゴリー・イノベーションとは、購買意思決定につながる価値次元を製品やサービスそのものではなく、顧客の「使用文脈」に転換し、それを価値次元の可視性を低下させることによって、競合他社との比較困難性を構築することである。カテゴリー・イノベーションの出発点を新しいコンセプトの創造であるとし、コンセプトの創造を「誰が、なぜ、どのように喜ぶのか」について、新しいストーリーを描くことであると述べている。さらに楠木（2010）では、競争戦略（competitive strategy）を特定の業界の特定の事業が競争の土俵で他社とどのように向き合うかに関わる戦略と定義し、その対象範囲を企業全体ではなく特定の事業において、「持続的な競争優位を獲得し、ビジネスを継続的に成長させるためには優れた一貫性のある戦略ストーリーが必要になる」と考える。さらに戦略の本質とは競合他社との違いをつくり、それをつなぐ「シンセシス」（総合）であるとし、「経営の問題の多くは、大きな事象を構成要素に分解し、そのうえで一つひとつの要素を別個に吟味しようとするアナリシスの形をとるが、戦略に限ってはシンセシスにその神髄がある」と述べている。こうしたコンセプトの創造や競合他社との違いとは、すなわち価値の創造と同義であると考えられる。そして戦略としてのストーリーは、個々の打ち手が「いつ、どこで、誰が、何を」を問題にするのではなく、それらが「なぜ」つぎの打ち手につながるのか、あるいは可能とするのかという「因果論理」に注目する。またストーリーとしての戦略は、すでに相当成熟している日本の企業にとって有効であると主張する。その理由は、画期的な新製品や新たな成長性が望める市場セグメントへの参入が目立つわけだが、経営環境が成熟するほど個別の構成要素レベルで競争優位を構築することが困難になる。したがってストーリーといったさらに上位レベルでの差別化が必要になってくるからだとする。

また長内・榊原（2012）は、日本の製造業が直面しているコモディティ化の発生メカニズムを明らかにし、消費財に限らず生産財であるB2Bでも起こり得る問題であると指摘している。そしてコモディティ化を回避したビジネス・モデルとして、コマツの「アフターマーケット・ビジネス」やソニーの「放送機器ビジネス」を事例として取り上げ、「製品事業とアフターサービス事業が顧客にとってどのよう

な価値をもたらすのか、価値の性質を考えながら、製造業におけるアフターサービスの意義」を考察している。両社は互いに競争優位の源泉となる機能的価値の高い製品技術を有してはいるものの、そのことのみならず、顧客に対するきめの細かいアフターサービスに加えて、事前にそのための技術的な「仕掛け」を設けることによって、企業側への信頼獲得につなげていた。この信頼感が機能的価値に付加された意味的価値となり、競合他社との差となってあらわれたと分析した。また、このような分析から得られる知見として、コモディティ化を回避するアイデアというものはないので、単に進展を遅らせるだけのものであると理解することが重要であり、そもそも顧客を無視した機能・性能などの技術競争ではコモディティ化を回避することは不可能であると結論づけている。

2-3. 命題の導出

以上のような先行研究の確認および整理を踏まえて、本研究での命題を導いていくことにする。本稿ではまず、イノベーションと制約の使い方を定義する。まずイノベーションは、一橋大学イノベーション研究センター（2001）や近能・高井（2010）の定義に従うものとする。すなわち、「企業を対象とし、新しいものを生産・流通・技術あるいはビジネスや、既存のものを新しい方法で生産することによって、顧客にこれまでにない価値をもたらして新規需要を創出し、かつ経済成果をもたらす革新」とする。次に、制約の定義を一般的な表現とは別に既存研究と本研究で区別する。すなわち、制約がどこで生起しているかという視座において、「内生的制約」と「外生的制約」に分ける。内生的制約とは、これまでの既存研究で論じられているように、「企業や組織の内部で生起する制約であり、自らコントロールしたり、乗り越えたりできるもの」とし、外生的制約を本稿で議論する前提となる「企業や組織に関係しない外から加わる制約であり、自らコントロールしたり乗り越えることができないもの」と定義する。以上の本稿における定義を踏まえて、外生的制約条件が防衛産業の研究開発に与えるイノベーション促進のメカニズム、およびそのイノベーションから顧客価値を創造し、ビジネス・モデルにつなげてくプロセスについて探索していくことにしたい。

まず、研究開発におけるイノベーションと制約の関係性についてであるが、(内生的)制約共存がコンセプトを先鋭化させる(楠木, 2001)ことや、新旧 R&D 間技術統合が(内生的)制約共存を促す(長内, 2006)ということは、企業や組織が意識的に自らのコンセプトを(内生的)制約共存という環境に置くことによって実現できるものと解釈できる。また BMI の議論(野中・徳岡, 2009; 2012)についても、しがらみ(=内生的制約)の克服が BMI の成功に導くということは、自らの行動によって、しがらみを乗り越えなければならないとしている。しかし、これらの議論は、企業や組織が置かれている競争環境が前提となっており、その中で生起する内生的制約について議論がなされているため、内生的制約はコントロールしたり、乗り越えたりすることができると思う。一方で防衛産業は、そもそも競争環境ではなく外生的制約環境に置かれているため、外生的制約はコントロールできないし、乗り越えることもできない。既存研究ではこの視点での分析はなされていない。しかしポーター的な戦略論の考え方に立脚すれば、「外生的制約」という環境要件自体が、企業や組織が取り得る戦略オプションを限定するので、ある外性的制約下で企業がどのような戦略を採るべきかという、戦略の方向性はむしろ規

定しやすくなるかもしれない。

次にイノベーションと価値創造との結びつきについてみていく。既存研究で整理した、価値づくりの重要性（延岡，2011）やカテゴリー・イノベーション（楠木，2006）、戦略ストーリー（楠木，2010）、あるいはアフターマーケット・ビジネス（長内・榊原，2012）の議論はコモディティ化のメカニズムに関する分析と、それを防止・回避するためにはこれまでの価値次元とは異なる価値、あるいはビジネスの形態を構築する必要があることを指摘している。これらの研究が取り上げている産業は、民生産業の消費財や生産財など、競争的市場においてコモディティ化を誘発する価格競争が起きることを前提とした議論となっている。対して、防衛産業が研究開発する防衛装備品は、ある製品については製造業者が限定されており、ユーザーも限定されていることから同質的な製品を大量に生産することは皆無と言ってよく、価格競争に陥ることがないという性質を持つ。しかし、本稿では、イノベーションの促進によって競争優位を確立することを議論するわけではないということに留意されたい。本稿で扱う事例では、技術とビジネスとの関係性について議論をするが、あえて、戦闘機ビジネスの収益性については言及していない。ある事業の収益性は製品の機能・性能あるいは技術的イノベーションによってのみ規定されるわけではなく、様々な要件が介在している。本稿で着目するのは、ある種の制約条件が技術的イノベーションの促進にどのような役割を果たしたのかそのメカニズムを解明することである。したがって、本稿で、価値次元の創造、あるいは新たなビジネス形態の構築との関係を取り上げるのは、制約条件が新たな価値次元の創造プロセスを促進し、それが技術的イノベーションを促進する可能性があるのではないかと考えることが第一義的な目的である。また、新たな価値次元を創造するストーリーが、ニッチな防衛産業におけるイノベーションに留まらず、より大きな民生産業需要への対応につながる可能性についても議論を行いたい。後者の意味では、制約条件が顧客価値やビジネス・モデルを創造し、競走優位の源泉となり得る可能性が示唆できるかもしれない。

3. 日本の航空・防衛産業

事例研究に入る前に、本邦航空・防衛産業の特徴を記しておきたい。一般に防衛産業の技術や製品は安全保障上の制約から、国外への輸出が厳しく規制⁽³⁾されており、日本をはじめ、ある国の防衛産業の市場は国内市場、すなわち自国政府に限定されることが多い。さらに日本ではいわゆる「武器輸出三原則」⁽⁴⁾という政府答弁を根拠とした自主規制を行っている。これによって、日本の機械・電機・素材メーカーなどの防衛産業に関わる企業は、防衛産業領域で開発した技術や製品を日本の自衛隊の装備のみに限定的に使用され、他国への輸出は基本的に禁止している。このことは、自衛隊の活動範囲や活動内容に前述のとおり大きな制約を受けているのみならず、防衛産業市場も制約を受けていることを意味している。先に説明したように海外に多くの派兵をしている米軍などに比べ、自衛隊は部隊組織の規模が小さいことから、日本の防衛産業は米国の防衛産業に比べ大きな制約条件に直面しているといえる。

次に航空機産業を見てみよう。太平洋戦争終結後の1945年（昭和20年）8月、連合国およびGHQ（連合軍総司令部）によって、日本国籍のいっさいの航空機の飛行を禁止し、同年9月には飛行場および保安施設の連合軍への引き渡し、旧陸海軍所属の軍用機や民間機の破壊、民間機および同部品の生産禁止

が指令された。さらに同年11月、「GHQは12月31日限りで航空機の生産・研究・実験をはじめとした一切の活動を禁止する覚書を発表し、日本の飛行機は模型飛行機すら飛ばすことができなくなった。また、運輸省航空局も同年の12月31日をもって廃止され、中央航空研究所、東京帝大航空研究所なども翌年1月までにことごとく廃止された」⁽⁵⁾。日本の航空機産業は当時の戦争との関わりが強く軍需産業の一部を成していたため、戦後の一時期、大幅な後退を余儀なくされた産業領域なのである。

その後、1950年（昭和25年）から始まった朝鮮戦争に参戦していた米軍は、1952年（昭和27年）4月のGHQ覚書によって兵器の生産、車両および航空機の修理を日本に指示した。これを機に日本の航空機産業は戦後の7年間という空白期間をおいて、ようやく再開されることになったのである。しかしその間、世界の航空機技術は飛躍的な発展を遂げて、すでに日本の技術レベルでは到底追いつけるものではなかった。第2次世界大戦末期には米英や独などが、レシプロ・エンジンに代わるジェット・エンジンをすでに実用化しており戦闘機に採用していた。その後も航空機はさらに進歩し続け、遂には音速の壁を突破するまでになっていたのである。1952年（昭和27年）9月、今後の航空機工業のあり方について検討するべく、航空機生産審議会が設置された。この審議会は通産大臣（現在の経済産業大臣）の諮問に応じて、航空機の生産、技術の向上に関する重要事項を調査審議するとともに、関係各大臣に建議することを任務とした。同会は発足後活発に答申や建議を行い、日本の航空機工業の今日の姿を形づくっていった⁽⁶⁾。

その後、1953年（昭和28年）に設立した日本ジェット・エンジン株式会社⁽⁷⁾によってJ3エンジンを国産開発、1955年（昭和30年）からは航空自衛隊において運用されたF-86戦闘機（米：ノースアメリカン社；North American Aviation, Inc.）やT-33高等練習機（米：ロッキード社；Lockheed）のノックダウン生産とライセンス国産を開始、同年にはT-1中等練習機の自主開発も開始している。それから、1968年（昭和43年）には日本初の国産超音速飛行機であるT-2高等練習機、1974年（昭和49年）F-1支援戦闘機など、着々と航空機技術を蓄積し、また技術者を養成することによって、国内の航空機開発基盤技術を培っていった。

また、『防衛生産・技術基盤研究会最終報告－「生きた戦略」の構築に向けて－』（防衛生産・技術基盤研究会、平成24年）の別添資料3『諸外国の防衛産業政策』によれば、「冷戦終結後の安全保障環境の変化や経済環境・社会保障費の増加等を背景に、米英仏では1990年代に防衛予算が縮小する一方で、プラットフォームの研究開発費は増加傾向にあり、一国の予算で防衛産業を維持・育成していくことが年々困難になっていった」とある⁽⁸⁾。その結果、防衛産業は世界的に、かつ急速に統合化の波が押し寄せ、現在では代表的な世界企業は米国5社、英国1社、仏国5社になった⁽⁹⁾。各国の防衛予算削減の方向に加えて、このように先進主要国における防衛企業の再編が進んだ結果、さらなる生産の効率化は厳しい状況にあり、今後、少なくとも先進主要国において新たな参入企業が現れる可能性は低いといわれている。

こうした防衛予算縮減の中、欧米諸国（およびロシア、中国、イスラエル、南アフリカ）では兵器輸出に力を入れ始める。各国は、航空ショーや兵器見本市などを開催し、兵器の輸出市場を広げていった。特に米国では、政府間総取引額が380億ドル（1993年）にものぼり、そのうちの三分の二がF-15戦闘機、

F-16戦闘機およびF-18戦闘機といった空軍装備で占めている。ちなみにF-16戦闘機の製造を手掛けるロッキード・マーティンは、この時期（1993～1995年）の兵器輸出総額が56.784億ドル⁽¹⁰⁾であり、全米一位となっている。

以上、見てきたように各国の航空機産業は、軍需産業の一部として官民一体となった航空機技術の育成と維持を図ってきた。そして日本の航空機産業や防衛産業が官民一体となって成長するという仕組みも米国など諸外国と同様である。一方で防衛費に対する研究開発割合の低さや、太平洋戦争を経て禁止された航空機開発の7年間の空白期間は、米国をはじめとする他国の競争力からは大きく引き離される要因となってしまった。

一方、技術面からみると、航空技術は軍需・民需の共通性が高く、特に要素技術の研究開発は軍用機に採用された後に、その成果を民間航空機に活用（スピン・オフ：spin-off）されることが多い。そのため、世界随一の軍事力を有する米国が、民間航空機産業においても世界をリードしてきており、市場が国内に限定され、予算も厳しいといった「産業特有の制約」が大きな日本の防衛産業、航空機産業は、国際的な競争力を得ることが難しい産業⁽¹¹⁾といえる。

4. F-2戦闘機の炭素繊維一体成形技術開発

本節では、F-2戦闘機の開発事例を詳述する。前半では、F-2戦闘機の開発経緯、日米共同開発となり改造母機となったF-16戦闘機との構造的および性能的な差異、さらに、その製造企業であるロッキード・マーティン社（開発当初は、ジェネラル・ダイナミックス社）が果たした役割を整理した上で、F-2戦闘機の開発に採用された、いくつかの国産技術を概観する。後半では、本稿の議論の中心に据えるイノベーションが生じたCFRP一体成形加工技術を焦点化していく。ここではまずCFRPの開発経緯などを簡単に紹介した後、日本が欧米との競争で優位に立った理由を推察していく。さらに、日本の防衛産業がCFRPに目をつけ、一体成形加工技術の研究開発に着手し、日本が当該技術でも優位に立った経緯について触れる。

4-1. F-2戦闘機の開発経緯

次期支援戦闘機FS-X（のちにF-2戦闘機と命名）は、1977年（昭和52年）から航空自衛隊で運用していたF-1支援戦闘機の後継機として、日本の運用構想、地理的特性等に適合するよう開発された支援戦闘機であり、航空阻止、近接航空支援、海上航空支援、及び航空作戦を効果的に実施すると共に、対領空侵犯措置の実施を任務としている。

1983年（昭和58年）7月、防衛庁（現在の防衛省）において国防会議が開催され、1981年度（昭和56年度）中期業務見積（1983年度（昭和58年度）から1987年度（昭和62年度）までを対象とする中期業務見積り）が報告・了承された。この中で、航空自衛隊の主要装備として初めて、24機のFS-Xが明記された。1985年（昭和60年）1月には、航空幕僚長から技術研究本部に対し国内開発可否の検討依頼（運用要求）が出されている。要求内容は「対艦ミサイル4発と対空ミサイル2発を搭載、約830キロメートルの行動半径を持ち、さらに空対空戦闘能力も高い戦闘・攻撃機」⁽¹²⁾であること。これを受け、1985

年（昭和60年）9月には技術研究本部が「エンジン以外は国内開発可能、開発期間は約10年」との答申を出した。その結果、同年10月にFS-Xは「国内開発」、「現有機の転用」、「外国機の導入」の3つの選択肢で検討を開始する方針が定められた。このうち「外国機の導入」については、米国製のF-16やF-18、欧州連合のトーネードなどを選定候補として挙げ、各機の性能などに関する質問書を外務省経由で各国に送っている。しかし、防衛庁の意向は当初より「国内開発」にあった。1986年（昭和61年）10月、米国航空機メーカー2社（F-16を製造するジェネラル・ダイナミックス社、F-15およびF-18を製造するマクダネル・ダグラス社）に対してヒアリングを実施し、FS-Xに対する64項目の要求事項（パラメーター）を提示すると同時に、短期間での回答を求めている⁽¹³⁾。これは時間的に検討および回答不可能な要求であり、事実上、外国機の導入を否定したものであったといえる。また「現有機の転用」については、1971年（昭和46年）から航空自衛隊が採用しているF-4戦闘機（ファントム）を念頭においたものであるが、防衛庁は「既存の戦闘機は、いずれも我が国の運用構想、地理的特性等の観点から、FS-Xとして採用することは適当でない」⁽¹⁴⁾と判断した。

一方、日本の重工各社の長年の悲願、さらには欧米の後塵を拝してきた航空機技術の育成を図るといふ狙いから、当初より防衛省、防衛産業は「国内開発」を推進してきた。しかし、米国の強い要請や当時の貿易摩擦の影響などもあり完全国産開発から徐々に、米国製F-16戦闘機をベースにした「日米共同開発」の方針に傾いていった。

そのような状況もあり、1987年（昭和62年）11月に黒柳明議員（当時）より「FS-X選定に関する質問主意書」が提出されている。その内容は同年10月の安全保障会議で報告・了承されたF-16を基本型として日米共同開発する旨の件に関するものであり、「防衛庁の「共同開発」という認識は、F-16の「共同改造」を意味するものか。」というものであった。政府はこの質問主意書に対し、参議院第110回臨時国会（1987年（昭和62年）同月）において、次のような答弁書を送付している。「防衛庁が、FS-Xに関する措置として今回決定したのは、日米の優れた技術を結集し、F-16を、我が国の運用構想、地理的特性等に適合するよう改造するための開発を行うことである。」また、決定に至るまでの選定経過については、「FS-Xについては、1985年（昭和60年）9月策定された中期防衛力整備計画において、「支援戦闘機（F-1）の後継機に関し、別途検討の上、必要な措置を講ずる」旨決定されている。その後、防衛庁は、FS-Xに関する措置の具体的検討作業を開始し、「国内開発」、「現有機の転用」及び「外国機の導入」について検討を進めてきたが、この過程で米国から「共同開発」の提案があつたので、それまで「国内開発」としていたものを「開発」に改めた。防衛庁は、この三つの選択肢について、引き続き、いわゆる栗原三原則⁽¹⁵⁾の下で検討してきたが、1987年（昭和62年）10月の日米防衛首脳会談における意見交換の成果を含め検討した結果、既存の戦闘機は、いずれも我が国の運用構想、地理的特性等の観点から、FS-Xとして採用することは適当でなく、我が国の運用構想、地理的特性等に適合するよう、我が国の主導の下、日米の優れた技術を結集し、F-15又はF-16を改造開発する案が、取得の確実性、費用対効果、インター・オペラビリティ（相互運用性）の確保等の観点から最も適切であると判断した。さらに、この二つの改造開発案について検討した結果、防衛庁として、1987年（昭和62年）10月、FS-Xに関する措置については、F-16の改造開発案が費用対効果等の観点から最も適切なものであると

の結論を得たところである。」と回答している。

翌1988年（昭和63年）11月、日米両国政府において「日本国防衛庁と合衆国国防省との間の FS-X ウェポンシステムの開発における協力に関する了解覚書」が締結された。続けて1989年（平成元年）3月に防衛庁は、主担当企業に指名されていた三菱重工業と設計契約を締結する。しかしながら、当時「日米貿易摩擦問題」⁽¹⁶⁾や「東芝機械ココム違反事件」⁽¹⁷⁾、さらに「三菱重工業のリビア化学兵器工場建設関与疑惑」⁽¹⁸⁾などの障害による米国議会の反対等もあり、まだ米側との作業分担については最終合意に至っていない中での契約であった。その後も米国議会の反対は続いたものの、翌1990年（平成2年）3月、三菱重工業、ジェネラル・ダイナミックス、川崎重工業、富士重工業からなる、FS-X の日米共同チームを発足した。こうしてようやく、米国製 F-16戦闘機を改造母機とした次期支援戦闘機 FS-X の開発に着手することになった。

以上のように防衛庁は、日本の「専守防衛」等に基づく運用構想、当時の仮想敵国との地理的特性等、日本特有の理由から兵装や航続距離に対する（現有機には実現できない）高度な要求を満足する機体開発を目指しており、そのための先進技術の導入を図るべく完全国産化を計画していた。しかし、当時の貿易に関するマイナス要因を背景とした米国との複雑な交渉経緯もあり、米国製 F-16戦闘機をベースとした日米共同開発に方針転換するに至ったのであった。

次に、FS-X の改造母機である「F-16戦闘機」について概観する。

4-2. 改造母機 F-16戦闘機とロッキード・マーティン社の役割

この説では、F-16戦闘機と、それを生産する米国ロッキード・マーティン社が、FS-X の共同開発に果たした役割について紹介していく。

4-2-1. F-16戦闘機とは

F-16戦闘機は、米国ジェネラル・ダイナミックス社⁽¹⁹⁾が開発（現在は、ロッキード・マーティン社が事業継承、以下、特に断りのない限り、ロッキード・マーティン社をF-16戦闘機の製造業者として記す）した軽量戦闘機（LWF：Light Weight Fighter）である。

F-16戦闘機は対地攻撃および制空任務をもち、小型軽量で機動性が高く、F-2戦闘機のベースになった「F-16 Block40」は夜間作戦能力を向上させ、全天候型で空戦能力に優れた戦闘機といわれている。これまでに4,500機⁽²⁰⁾以上の生産実績を誇るベストセラー機であり、米国では空軍と海軍が運用、世界では20か国以上で運用されている。

4-2-2. ロッキード・マーティン社

製造を担当しているロッキード・マーティン社（Lockheed Martin）は、米国の航空宇宙防衛事業を主とする企業であり、兵器分野における総売上高は世界一の規模（約2兆8千億円、2011年度）を誇り、かつ総売上高に占める兵器売上高の割合は78%にもものぼる。

1992年、ジェネラル・ダイナミックス社は軍用機部門をロッキード社へ売却したため、このF-16戦

闘機の生産についてはロッキード社からそのままロッキード・マーティン社へ継承された。

現在は最新鋭戦闘機である F-22戦闘機（ボーイング社との共同開発）や F-35戦闘機などの開発・製造を行うなど、戦闘機に関する技術力は世界でもトップクラスの実力と実績を有している。

F-16戦闘機を設計・製造した米国の企業であるジェネラル・ダイナミックス社、およびそれを引き継いだロッキード・マーティン社は、現在でも世界のトップ5の装備品売り上げを誇る防衛機器のトップ・メーカーであり、さらにその企業から生み出された F-16戦闘機も、世界トップレベルの性能を有する、世界中で運用されている機体である。このことから米国の防衛企業、そしてその企業が生み出した戦闘機はいずれも世界トップクラスの存在であることがわかる。それに対して日本の航空機メーカーは、戦後7年間の空白期を経験したことで、それまでに蓄積された航空機技術のノウハウは陳腐化してしまい、さらによく国産化を実現した軍用機に関する経験や実績では T-1中等練習機、国産初となる超音速飛行機である T-2高等練習機および F-1支援戦闘機のみであり、その劣位性は明らかであった。

4-2-3. ロッキード・マーティン社が F-2戦闘機開発に果たした役割

日米間の調整等を経て1987年（昭和62年）10月、栗原防衛庁長官（当時）とワインバーガー米国防長官（当時）の間で「FS-X の日米共同開発」が合意され、1988年（昭和63年）11月には両国政府間の交換公文および了解事項覚書（MOU）が調印された。

FS-X は F-16戦闘機との共通点が「垂直尾翼」のみともいわれており、ほぼ日本独自で新規設計した機体と言ってよい（図5）。

機体の設計については、三菱重工業が主契約事業者、ジェネラル・ダイナミックス社（当時）は、川崎重工業や富士重工業などと同じ、従契約事業者として参加している。FS-X の日米共同開発チームにおける各社の役割等については、1989年（平成元年）4月、ペーカー米国防務長官（当時）と松永駐米大使（当時）間のクラリフィケーションで、量産段階においても米国側にワークシェアの40%を保証（図6）すること、フライト・コントロール・システムのソースコードは日本側に開示しないこと、日本側の FS-X 関連技術に米国側がアクセスできること等が合意されている。こうした条件をみても当時の米国と日本との不平等な関係、すなわち米国が軍事的にも経済的にも優位なポジションで交渉していたことが理解できる。

ジェネラル・ダイナミックス社が FS-X の設計・開発に果たす役割は、技術的な支援と限定的な部品の製造であった⁽²¹⁾。特に機体設計のカギとなる主翼については、次のように当時の新聞が伝えている。「FS-X の主翼は揚力を向上するために翼面積が大幅に増えるが、炭素繊維系複合材の一体成形技術の導入によって軽量化が図られる。このハイテクを主翼に採用した航空機は世界にも例がなく、米国がこの技術の供与と米国での開発を日本側に執ように要求、日本側が応じなかったことから昨年1月、FS-X 共同開発の見直し論が米国内にわき起こった。結局、ジェネラル・ダイナミックス社が試作機6機のうち2機分の主翼を米国内で開発することでこの問題は一応、決着している。日本側では技術的に複雑な主翼の下面を三菱重工業が、上面を富士重工業が担当する⁽²²⁾。」（朝日新聞，平成2年2月21日付）

FS-X が F-16戦闘機をベースにしながらも、ほぼ新規設計に近い開発設計となった理由は、製品のユー

ザーである米軍と自衛隊の顧客ニーズの違いに由来している。

軍用機（ここでは哨戒、輸送、練習機を除く）はそれぞれの目的や用途に応じて開発されている。例えば米国では、戦闘機、爆撃機、無人機などに分かれ、陸軍・空軍・海軍等の運用に合わせて多くの機種を各社で分担、開発・製造しているため、それぞれの軍用機によって運用が部分最適化できている。一方、日本では先の理由から航空自衛隊の戦闘機に限定されており、1機種の中で多様な要求を満足させるための知恵が必要になってくる

図5 F-2とF-16の形状比較

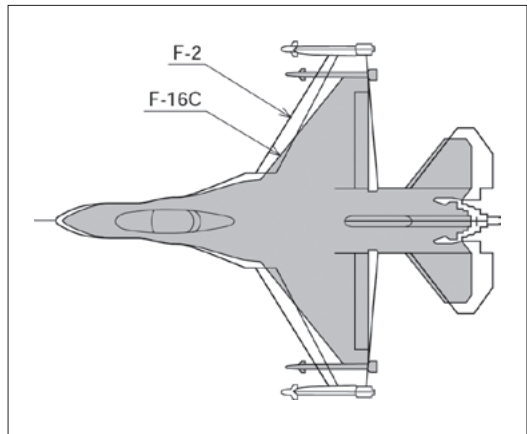
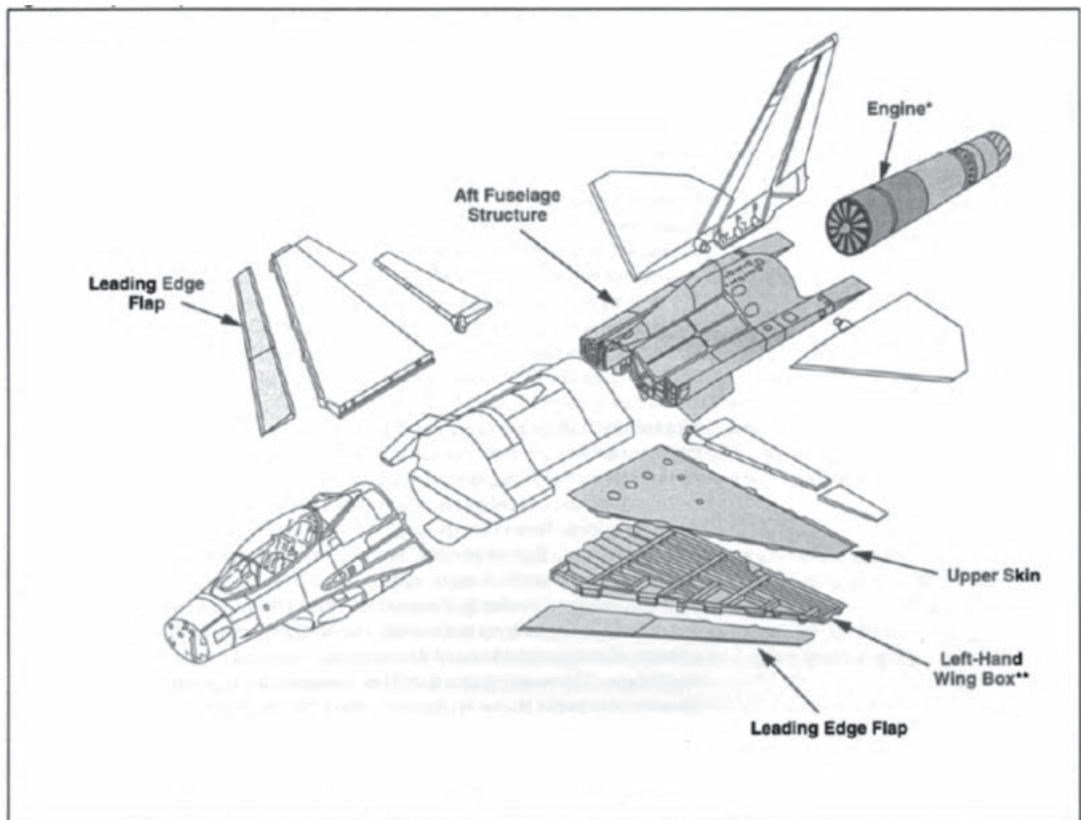


図6 F-2戦闘機の米国分担



Notes: * Phased-in licensing arrangement
 ** 8 of every 10 left-hand wings

Source: Defense Security Assistance Agency.

(出所) United States General Accounting Office (1997) U.S.-Japan Fighter Aircraft Agreement on F-2 Production, GAO/NSLAD-97-76, pp9.

ため、軍用機の運用は全体最適化を図らなければならない。例えば F-16 戦闘機は空戦能力に優れ、軽量ではあるが対艦攻撃能力を持っていなかったため、FS-X の改造母機に対して、その要求を満足させるためには機体構造の変更と軽量化を図る必要があった。つまり、米国では、顧客の細かなニーズの違い毎に異なる製品ラインを用意するといった開発スタイルが一般的であり、また、米軍の規模からニーズ毎に製品を作り分けたとしても、個々の製品開発がビジネスとしてペイするだけの市場規模が存在していた。しかし、日本の場合は、用途別に異なる軍用機を開発することが政策的に困難であった上、市場の規模も小さいため、できるだけ製品ラインを絞り「万能機」を開発しなければ、研究開発費を賄うことができなかったのである。

4-3. F-2 戦闘機に採用された国産技術の特徴

紆余曲折を重ねながら、完全国産から日米共同開発に方針変換した FS-X ではあったが、この機体には当時の様々な先進的国産技術を採用している⁽²³⁾。例えば、スタンドオフ対艦攻撃力を高める目的として、アクティブ・フェーズド・アレイレーダを搭載すると同時に長距離 ASM を搭載。また、高旋回性／加速性等の高い防空戦闘能力を得るために、大推力エンジンを採用すると同時に、機体構造を軽量化している。さらに、強化型風防および統合電子戦システムを採用することによって機体の生存性を高め、危険な飛行条件は自動的に防止される FBW (Fly-by-Wire : ケア・フリー電子式操縦システム) になっている。

以下に、FS-X で採用された、国産技術のいくつかを紹介する。

- 1) 一体成形複合材構造主翼 : 防衛庁技術研究本部、三菱重工業、富士重工業などは、1976年(昭和51年)から「複合材構造技術の研究」に着手した。1980年(昭和55年)～1984年(昭和59年)には、一次構造としての小型機主翼への炭素系複合材料の本格的適用を目的に桁と下面外板を一体で作る上げる一体成形加工技術の開発を目指し、主翼桁間構造の研究を実施。その成果を FS-X の主翼に活かしている。
- 2) 統合化ディスプレイ : 大型のヘッドアップディスプレイ (HUD) ・多機能ディスプレイ (MFDS) を採用。パイロット正面に広視野型ホログラフィック・ヘッド・アップ・ディスプレイがあり、その下にアップ・フロント・コントロールパネルがある。主計器盤には3基のカラー多機能表示装置があり、兵装やシステムの状況、地上地形図などの選択表示が行える。
- 3) 先進搭載電子機器の採用 : FS-X に採用された航空機搭載火器管制装置のレーダーには、目標に反射した電波を受信することで敵を搜索するアクティブ・フェイズド・アレイ・レーダーを採用している。このレーダーは、電波の方向を機械的ではなく電子的に走査する特徴を持ち、短時間で複数の敵を搜索することが可能である。防衛庁は1970年代から研究に着手し、1981年度(昭和56年度)

に防衛庁技術研究本部が三菱電機に開発を委託、1986年（昭和61年）には試作品が完成している。なお、この火器管制装置は FS-X への採用により、世界で初めて量産型の戦闘機に搭載した。

- 4) デジタル飛行制御：フライトコントロールのソースコード（FBW 飛行操縦コンピューターのソフトウェア）は米議会の反対の結果、供与されなくなり国産開発となった。防衛庁は、それまでに培ってきた飛行制御技術の研究によって、DY モード（Decoupled yaw:バンク角を取らないでもフラットに機体を旋回出来る飛行パターン）および ME モード（Maneuver Enhancement：機体の進路方向を変えずに機首を上下方向に変える飛行パターン）の独自技術を採用した。国産デジタル飛行操縦システムによって FS-X は F-16戦闘機の空戦能力を大きく凌駕する運動能力を手にした。
- 5) 高強度複合材構造尾翼／胴体：FS-X の機体は主翼の CFRP 採用によって、軽量化と高強度化が図られたが、全体的に F-16戦闘機の機体に比して大型化したことから、機体自体の剛性を高めるために尾翼と胴体にも先進複合材料を導入している。
- 6) 大推力高信頼性エンジン：機体変更改造に伴う重量増加をカバーするため、大出力で高信頼性のあるジェネラル・エレクトリック社（General Electric：GE）製の F110GE-129ターボファンで最新の F-16C/D Block50以降に搭載されている物と同じエンジンを搭載する。
日本の IHI は GE のライセンス供与によって主契約者として量産に参画。
- 7) 強化風防：低高度、低速飛行時の対策として、前部風防はバードストライク（鳥の衝突事故）対策のため強化された。F-16戦闘機は、風防とキャノピが一体型になっているが、F-2戦闘機では、分割型を採用している。
- 8) ドラッグシュート：F-16戦闘機には装着されていないドラッグシュート（パラシュート状のブレーキ）を追加した。滑走距離が短い日本の基地滑走路の状況に合わせている。

なかでも米国が一番注目した技術は、主翼に採用された「一体成形複合材構造」技術であった。当時、F-16戦闘機を含めて航空機の機体主要箇所（一次構材）の材料はアルミ合金などが主流となっていた。これは機体の性能や強度を高めるためにはメリットがあったが、機体の重量を重くする要因でもあった。日本では、自衛隊が求める「万能機」を開発するために、少しでも重量を軽くする対策に目をつけた。機体重量が軽いと言うことは、航続距離を延ばすことができる上、様々なそれぞれ重量の異なる装備（ミサイル等）に網羅的に対応できるようになるので、軽量化技術こそが、万能機を開発するという日本の自衛隊の顧客ニーズを満たす上で欠かせない技術だったのである。CFRP の開発は、欧米企業でも研究レベルでは進められていたが、実用化には至っていない。FS-X では、この日本が開発した CFRP とその加工技術を世界で初めて航空機の重要部品である主翼に採用している。

当時、米国はこの技術がF-16戦闘機の改造により得られた「派生技術」と主張、無償による技術移転を求めた。最初はロッキード・マーティン社へ供与されたこの技術は、最終的に米国国防総省や米国内の防衛各企業が無償で情報をアクセスできるようになってしまった⁽²⁴⁾。

4-4. CFRP の特徴

19世紀末、トーマス・エジソンは白熱灯を開発し、フィラメントに木綿や竹を焼いて作った炭素繊維 (Carbon Fiber, CF) を使用した。今では、炭素繊維は金属の代替材として軽量かつ高強度な構造用素材として注目を集めているが、こうした素材としての開発は、1950年代の米国において耐熱性が要求されるロケットの噴射口の材料用途が始まりと言われており、その後、英国や日本でも開発が行われた。炭素繊維をそのまま使うことはほとんどなく、通常は樹脂やセラミックスなどを母材として、複合材料の強化および機能性付与材料として利用される。その代表的なものが、炭素繊維強化プラスチック (carbon-fiber-reinforced plastic, CFRP) である。高比強度、高比弾性率、低密度、低熱膨張率、耐熱性、化学的安定性、自己潤滑性などの特徴を持ち、現在では民生用から航空宇宙用まで様々な用途に幅広く使われている。

炭素繊維には、大きく PAN (ポリアクリルニトリル) 系炭素繊維、ピッチ系炭素繊維およびレーヨン系炭素繊維など、原料別に分類されることが多い。特に PAN (ポリアクリルニトリル) 系炭素繊維に関しては現在、日本メーカーが先端技術をリードしている。この炭素繊維は今や鉄、アルミに続く第3の構造用基本素材として活用領域が広がりつつある。

なお日本の炭素繊維協会⁽²⁵⁾では、炭素繊維の分類方法に「原料別分類」(表7)、「製品性能別分類」(表8)を採用している。

炭素繊維の開発は、米国のユニオンカーバイト社 (UCC) によるレーヨン系炭素繊維 “Thornel-25” の工業化 (1954年 (昭和29年)) が始まりとされる。その目的は、宇宙用途および軍事事業用途で使用する耐熱材の開発であったが、このような航空宇宙材料の他にも断熱材料やシール材など、一般工業用途への利用も広がり、炭素繊維工業の発展に繋がっていった。高強度・高弾性率のいわゆる高性能炭素繊維についても開発が進み、1964年 (昭和39年) には UCC 社から上市されている。しかし、製造プロセスにコストがかかりすぎることもあり、PAN 系炭素繊維やピッチ系炭素繊維に置き換わり、1977年 (昭和52年) 頃には製造中止になっている。

現在、生産量の最も多い炭素繊維は PAN 系炭素繊維であるが、これは1962年 (昭和37年) に大阪工業試験所の進藤博士によって開発され、その後に基本特許を取得した製造技術が原点になっている。この技術を使った PAN 系汎用炭素繊維は同年、日本カーボンにより工業化された。PAN 系高性能炭素繊維についても1964年 (昭和39年) には、進藤博士が特許を出願している。

炭素繊維は、レーヨン、石油・石炭ピッチ、ポリアクリロニトリル (PAN) 繊維などから製造される。高性能炭素繊維 (HPCF; 強度120kg/mm²以上、弾性率12×10³kg/mm²以上のものをいう。) は製造が原理的に容易な PAN 繊維やピッチ繊維が選定される。ここでは PAN 系炭素繊維の製造について簡単に説明する。

表7 CFの原料別分類

名称	特徴
PAN系炭素繊維 (PAN based carbon fiber)	PANプリカーサー（前駆体）を炭素化して得られる繊維 レーヨン系、ピッチ系に比べて高強度が得やすい
ピッチ系炭素繊維 (Pitch based carbon fiber)	ピッチプリカーサーを炭素化して得られる繊維 光学的等方性ピッチCFは結晶構造少なく、低強度、低弾性 メソフェーズピッチ系CFは、結晶構造が発達し、高強度高弾性
レーヨン系炭素繊維 (Rayon based carbon fiber)	レーヨン（セルロース）から作った炭素繊維 レーヨンを延伸しないで炭化すると等方性に、延伸すると異方性化して強度が発現する

(出所) 前田豊ほか(2007)『炭素繊維の最先端技術』シーエムシー出版

表8 CFの製品性能別分類

名称	特徴
高弾性率タイプ炭素繊維 (HM type)	引張弾性率350Gpa以上をいう HTタイプに比べ、結晶化が進んで黒鉛質を有する 弾性率600Gpa以上を、UHM（超高弾性率タイプ）に分類する場合もある
標準弾性率タイプ炭素繊維 (Regular Modulus type)	引張弾性率200-280Gpa、引張強度が約2,500Mpa以上をいう
中弾性率タイプ炭素繊維 (IM type)	引張弾性率が約300Gpa、引張強度が約4,500Mpa以上を指すことが多い
低弾性率タイプ炭素繊維 (LM type)	引張弾性率200Gpa以下、引張強度が約3,000Mpa程度以下をいう

(出所) 前田豊ほか(2007)『炭素繊維の最先端技術』シーエムシー出版

PAN系前駆体（プレカーサー）については、繊維に一軸配向を賦与した状態で、炭化焼成した場合、全過程で配向が保持され、最終的に繊維構造を有する炭素繊維が容易に得られるという特徴をもつ。

PAN系炭素繊維は、図8に示す製造工程のように、PAN系繊維に耐炎化処理を施して安定化させた後、不活性雰囲気中で炭化焼成、あるいは必要に応じて高温で黒鉛化処理する方法で作られる。この製造工程で最も重要なのは耐炎化工程であるが、この工程でPAN分子は、炭素化反応を制御しやすい、ピリミジン環を主成分とするラダーポリマーとなる。耐炎化処理を行うと熱収縮のため分子の配向が崩壊するので、HPCFをつくる場合は、通常緊張下ないし延伸操作を加えながら耐炎化処理を行う方法が、製造技術として確立されている。

PAN繊維は通常、湿式または乾式紡糸法で製造される。製法によって溶剤や凝固液などはかなり異なるが、その違いは最終製品にはほとんど反映されない。

続く炭素化工程や黒鉛化工程で、その性質（特に強度、弾性率）をかなりの範囲で変えることができる。そこで用途に応じた各種タイプの製品を得るため、様々な工夫がなされ、炭素繊維メーカーのノウハウとなっている⁽²⁶⁾。

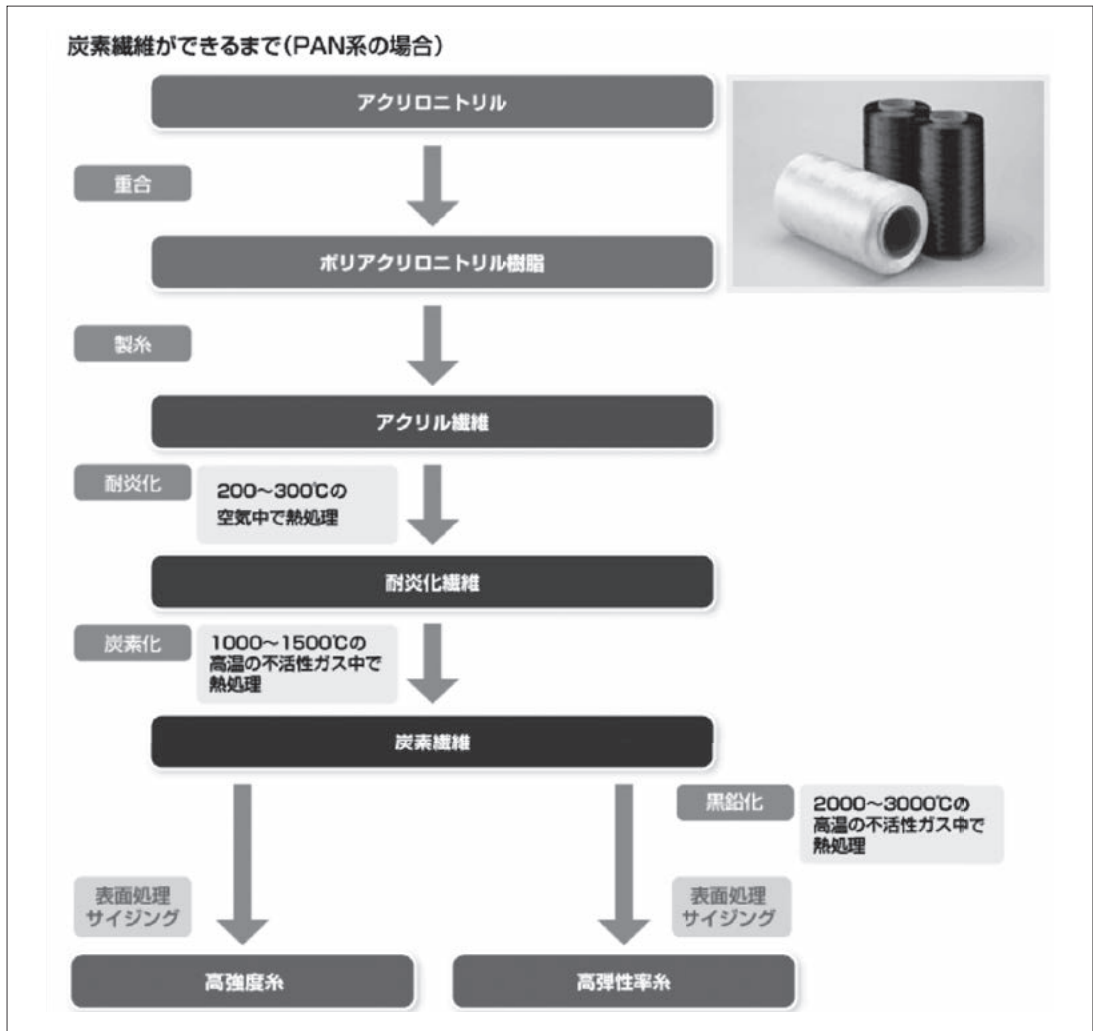
ピッチ系炭素繊維は、1963年（昭和38年）に群馬大学の太谷教授が開発に成功している。ピッチ系炭素繊維の商業化は、安価な炭素繊維のニーズと石炭・石油化工企業の副生成物の利用促進という目的でもあった。世界で初めて生産を始めたのは、1970年代、日本の呉羽化学工業である。PAN系炭素繊維

に比べて、ごく限られた種類しかなく、民生用途への利用も期待できないことに加えて、参入企業は国内1社であったことから、商品としての定着、広がりにはPAN系炭素繊維よりも時間を要している。1970年代後半に入ると、ようやく断熱材、しゅう動材、シール材などを中心に利用され始めた。当時、石綿が主要基材に使われてきた建材などの発がん性が問題になったこともあり、代替材料としての材料開発と利用が進んだ。

4-5. 日米欧における CFRP の技術開発

先に述べたように PAN 系炭素繊維やピッチ系炭素繊維の発見や開発は、日本の研究者の手によるものであった。彼らの研究成果を機に企業の上市が始まっているが、日本の炭素繊維生産は1970年代から

図8 PAN系炭素繊維ができるまで



(出所) 日本経済新聞ホームページ (全図解ニュース解説)⁽²⁷⁾

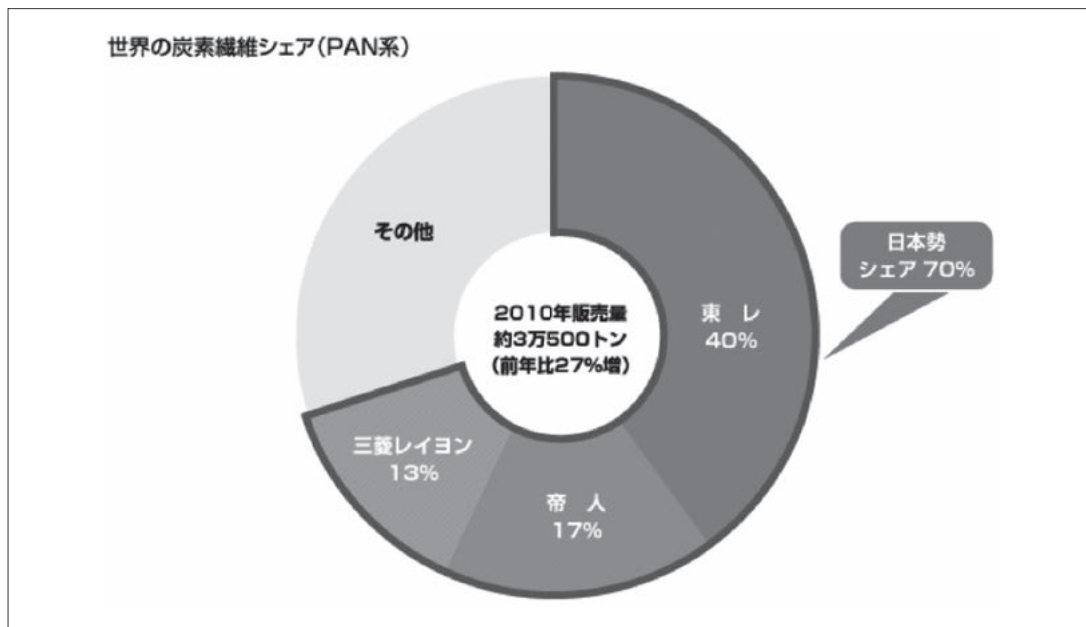
本格化している。そして日本のメーカー各社は、欧米企業との開発競争に打ち勝ち、現在では世界の炭素繊維市場をリードするまでに成長している。PAN系炭素繊維の主要メーカーは東レ、帝人傘下の東邦テナックス、三菱レイヨンで、この3社が世界のPAN系炭素繊維市場の約7割のシェア（2010年販売量）を占めている（図9）。

この3社の中でも圧倒的なシェア4割を握っている東レは、1952年（昭和27年）アクリル繊維の基礎研究からスタートし、1959年（昭和34年）には“トレロン”を商標登録、翌々年の1961年（昭和36年）には炭素繊維の研究に着手している⁽²⁹⁾。さらに1971年（昭和49年）には当時世界最大の生産能力（12トン／年）を誇った、PAN系高強度炭素繊維トレカ®系T300の製造・販売を開始した。翌1972年（昭和49年）からは鮎竿やゴルフシャフトに採用するなど、民生用への市場参入を果たしている。

このころの日本の炭素繊維市場は、このように民生用や一般工業分野への進出を果たし、テニスラケットやボート、スキーなどのスポーツ、レジャー産業において需要の拡大を図ってきた。続いて1970年代後半から1980年代に入ると、航空機分野への利用が本格化し始めている。例えば、ボーイング737のCFRP使用率は、1970～1980年代で主に内装材への採用を中心に使用率は1%未満（0.1トン）であったが、1980～1990年代になると使用率は拡大し、ボーイング767では尾翼の一部などで約3%（1.5トン）となった。1990～2000年代に入ると1次構造材への採用がさらに進んでいる。ボーイング777では尾翼全体に使われ使用率は約12%（10トン）まで増えたが、2000～2010年代に入り、ボーイング787ではついに約50%（35トン）の使用率まで拡大している。

欧州では、1960年代半ばに英国の王立航空研究所（Royal Aircraft Establishment；RAE）によって、

図9 世界の炭素繊維シェア（PAN系）



（出所）日本経済新聞ホームページ（全図解ニュース解説）⁽²⁸⁾

PAN系高性能炭素繊維の開発が進められた。1967年（昭和42年）には英国ロールス・ロイス社（Rolls-Royce Limited）が、大幅な軽量化を目標でターボジェットファン・エンジンRB211に自社製CFRPの採用を発表し、1968年（昭和43年）には、米国ロッキード社のエアバス・トライスター1011への搭載が決まる。英国のエンジンが、米国のGE（General Electric Company）社やP&W（Pratt & Whitney）社との受注競争に勝って米国の大型旅客機に採用されたということは、「技術の勝利」として世界で報じられた。しかしながら、バードストライク試験の失敗などによる開発の難航や遅延などが影響し会社が経営難に陥ったため、1971年には経営破綻することになり、英国政府の管理下に置かれる結果となった。同時期、英国で大手化学企業のインペリアル・ケミカル・インダストリーズ社（Imperial Chemical Industries；ICI）も炭素繊維の工業化に挑んでいる。ICIは1960年代に入ると、アンモニア、石油化学、合成繊維などの分野で大規模な設備投資を行い、多角化戦略を追求するとともに、海外市場にも積極的に進出した。1970年代には、生産性の向上とファイン・ケミカル（少量、高純度の化学製品）への進出を経営戦略の柱としながら、炭素繊維事業に対しても多額の調査費を費やして市場調査を行っている。しかし市場性は期待されたものではなく、将来性も不透明という理由から、研究開発の中止を決定する。ICIはこの意思決定によって、炭素繊維の企業化に乗り遅れてしまった。

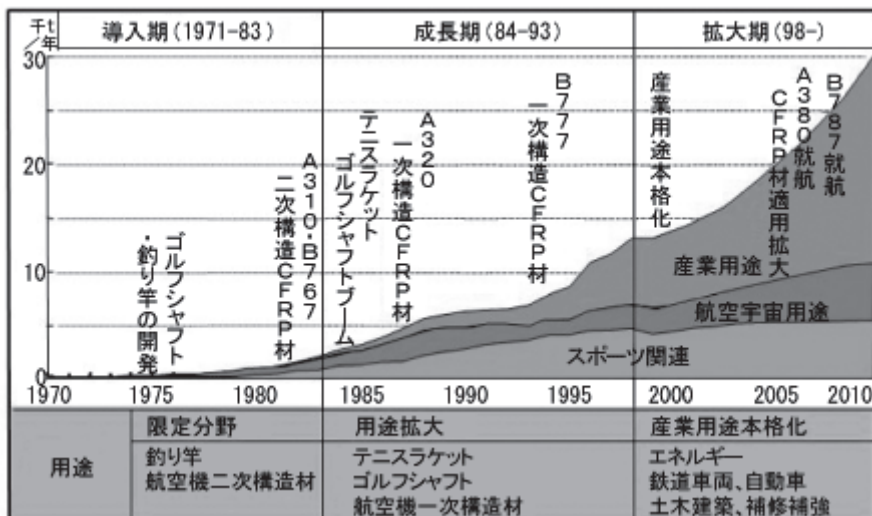
一方、米国では先に説明したように、UCCがレーヨン系炭素繊維を製造中止している。レーヨン系炭素繊維よりもPAN系炭素繊維のほうが優位であるとの認識が世界の共通認識になりつつあったためである。UCCは日本の東レと技術提携していたため、クロスライセンスによってPAN系炭素繊維の技術情報を獲得することは可能とみられた。しかし、UCCはそれをせずに、原料が安価なピッチ系炭素繊維の開発を目指すことにする。ピッチ系炭素繊維で技術力をつけておき、基本特許で日本と英国に押さえられているPAN系炭素繊維は東レに任せ、必要に応じて東レから技術導入を図る方針であった。しかし、その後もピッチ系炭素繊維の性能がPAN系炭素繊維を上回ることはなかった。さらに、航空宇宙や軍事事業用途への採用などの産業分野で需要拡大が見込まれると思われていたが、1990年代に入り、東西冷戦が終結したことによる影響を受け、航空宇宙・軍事事業用途への炭素繊維をはじめとする先進複合材料の需要が落ち込んでいった。需要の低迷は米国の炭素繊維メーカーの構造転換を決断させる結果になり、関係企業の事業撤退が相次いだ。図10および図11に炭素繊維の需要量変化を示す。このグラフによれば、1980年代に成長気運を見せた炭素繊維需要であったが、1990年代に入ると需要の低迷が起きていることがわかる。

英国では、もっとも困難なジェット・エンジンでの炭素繊維利用を急ぎ過ぎた。米国は、市場が高弾性品から高強度品への指向を変えはじめる中、高弾性品を安価な原料から生産しようと試みた。このように1950年代から続いた炭素繊維開発の歴史において、欧米の多くのメーカーが競争に敗れていったが、日本のいくつかのメーカーはその後も研究開発を続けて生き残り、世界のトップレベルまでに成長することになる。これは「日本では、もともと航空宇宙分野への依存が欧米に比べて少なかったうえに、圧力容器や建造物の補強材などの産業用途を開拓することにより、航空宇宙分野での低迷とスポーツ分野の成熟化に対処し、むしろ増設が行われた。」⁽³²⁾ことが大きな理由とされている。

次期支援戦闘機FS-Xの開発は1980年代後半から1990年代初頭であり、まさに欧米メーカーの炭素織

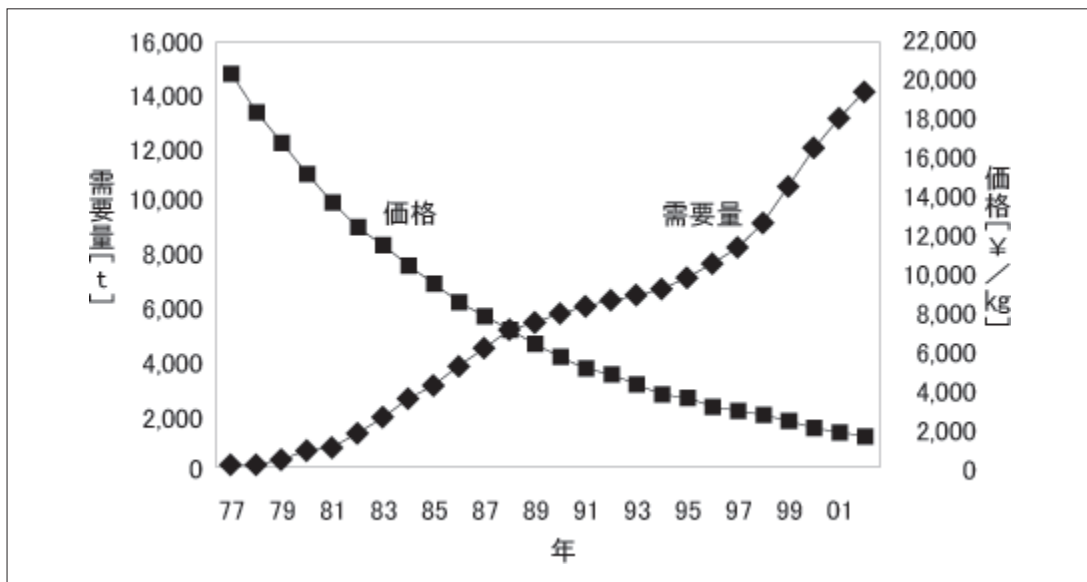
維に関する研究開発が停滞していた時期と重なる。東レは40年かけて炭素繊維技術を確立したが、その間に投じた研究開発費は千数百億円にも達し、その期間は事業赤字が続いている。「日本には長期的視点で経営できる風土があり、株主もそれを容認する。一方、欧米企業では息の長い事業は許されないため、儲からないものはやめろという」⁽³³⁾。この企業文化の違いも影響して、日本の炭素繊維技術は世界最先端を持続しているのかもしれない。

図10 世界の炭素繊維用途別使用量の変化



(出所) 日本自動車工業会ホームページ (JAMAGAGINE)⁽³⁰⁾

図11 PAN系炭素繊維の世界需要量と価格の推移



(出所) 日本自動車工業会ホームページ (JAMAGAGINE)⁽³¹⁾

炭素繊維の事業化では、炭素の専門メーカー（ケミカル・ジャイアント）が必ずしも成功しているとは限らず、むしろそれとはあまり関係のない（東レなどの）繊維製造業者が成功しているというのにも目に値する。

なお2005年（平成17年）に米国の国防省が作成した企業政策のレポートによれば、現在でも日本の炭素繊維は米国企業では製造できないレベルとされ、「将来の国防省プログラムが要求する高性能モジュールは日本だけしか製造できない。」⁽³⁴⁾と記されている。

4-6. 日本の CFRP 一体成形加工技術

この項では、CFRPの一体成形加工技術について概観する。日本はこの製造技術を長い時間をかけて培ってきたからこそ、F-2戦闘機主翼のCFRP化は果たせたのであって、さらにその技術が日本の航空機産業に活力を与えていくことになったと言える。日本で初めてCFRPを用いた航空機構造を設計評価した事例としては、旧航空宇宙技術研究所（NAL）のSTOL実験機「飛鳥」の尾翼を想定した模型開発がある。この模型は特徴あるサインウェブ桁（サイン波形状に曲がった桁）を用いており、設計時に、この特性が良く理解されていなかったため、局部座屈誘導の早期破壊を生じたという痛い教訓を得ている。実際の「飛鳥」には、CFRP尾翼は搭載されなかったが、このCFRP模型の設計製造技術は、F-2戦闘機の主翼設計製造技術の根幹をなし、ボーイング787の複合材主翼開発の基礎ともなったといえる。

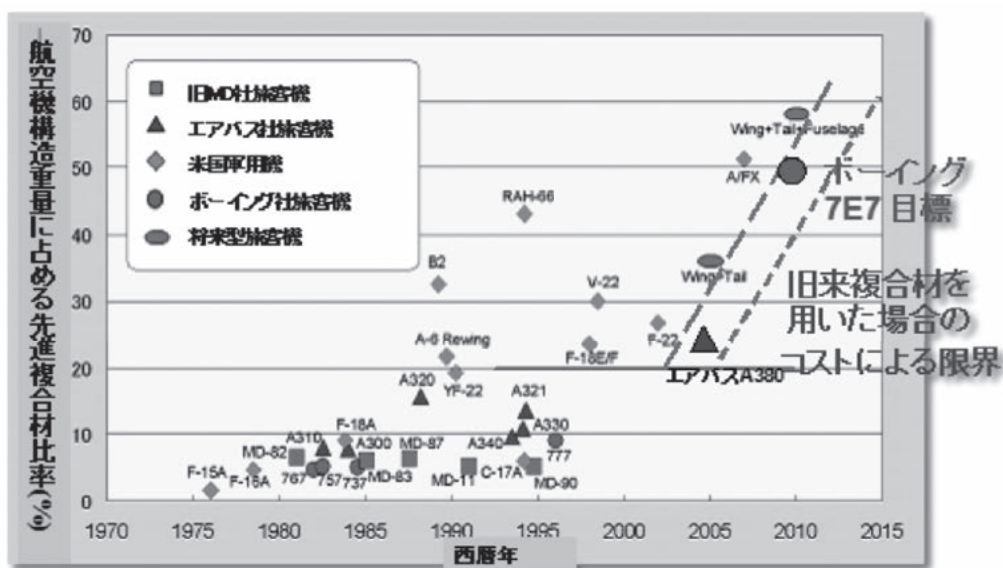
航空機にとって軽量化は大きな課題であり、古くから軽量・高強度の材料開発が行われてきた。航空機へこのような高強度の素材（先進複合材）を採用する動きは、戦闘機への適用を機に民間航空機へ徐々に拡大してきた（図12）。

航空機への先進複合材適用の事例としては、軍用機では米国のF-15戦闘機のスピードブレーキに採用されたCFRPや、世界で初めて主翼にCFRPの一体成形技術を採用した日本のF-2戦闘機などが挙げられる（図13）。F-15戦闘機の主翼はアルミニウム合金を素材としており、先端複合材の使用比率は1%程度であった。その後、F-16戦闘機では4%程度に増え、F-18戦闘機になると10%にまで先端複合材の使用比率は高まった。この頃とほぼ同時期に開発されたF-2戦闘機では機体構造重量の18%程度をCFRP化している。しかし、技術の発展に伴って、複合材の使用比率は高まり、近年開発されたF-22戦闘機やF-35戦闘機に至っては、使用比率が35%まで上昇している。また民間機で最初にCFRPを採用したのはエアバスのA320であり、水平・垂直尾翼の一部やエンジンカウルなどに使われている（図14）が、その後、ボーイングなどでも採用が拡がり、ボーイング737では1%未満であった使用比率が、ボーイング767では3%、ボーイング777では12%、ボーイング787ではついに50%となっている。

航空機等の構造材として使われる場合、先進複合材料がそのまま使用されることはなく、下表（表9）のような方法で成形されてから使われる。

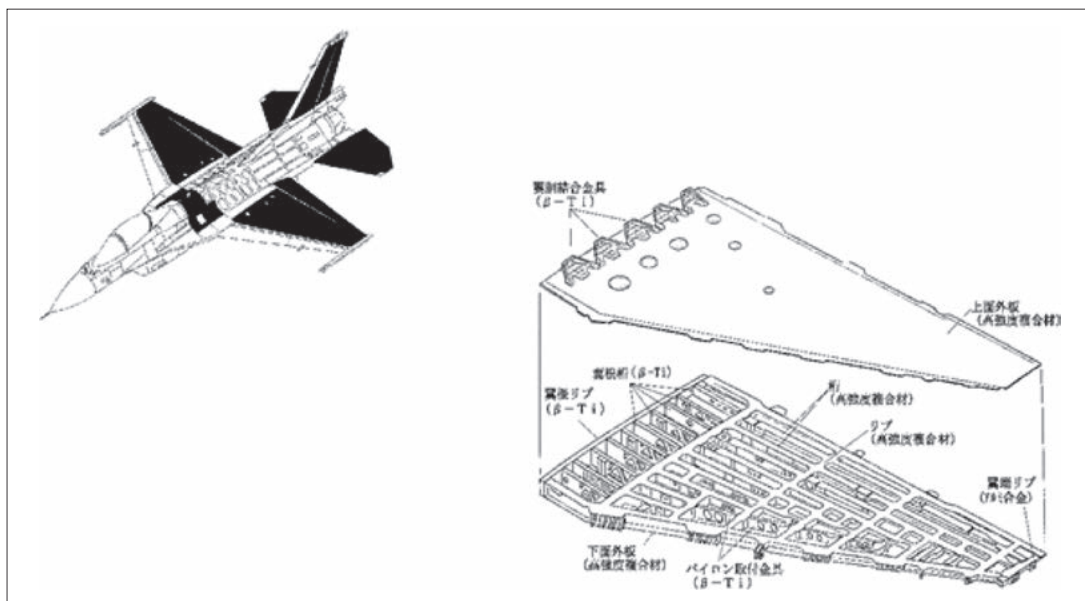
このうち、F-2戦闘機の一体成形技術ではオートクレーブ成形法のうち、「プリプレグレイアップ法」を採用している。この方法は現在、戦闘機、民間機、回転翼機の構造部品など航空宇宙用複合材の成形において最も普及している成形法である。

図12 航空機構造重量に占める複合材比率の変遷



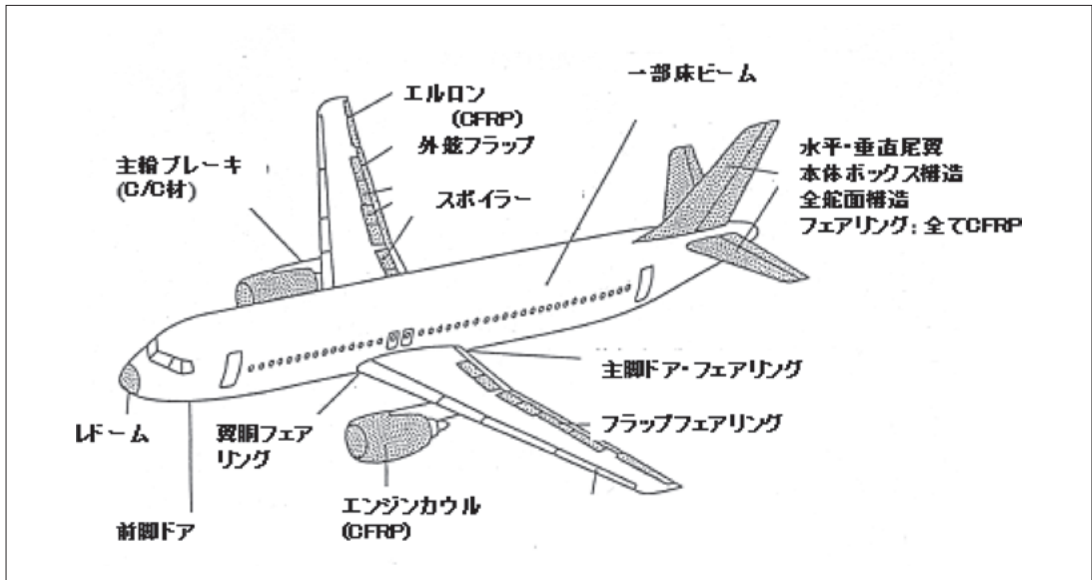
(出所)『先進複合材料工学』培風館⁽³⁵⁾

図13 複合材一体成形主翼例 (F-2)



(出所)『先進複合材料工学』培風館⁽³⁶⁾

図14 エアバス A-320の適用部位



(出所)『先進複合材料工学』培風館⁽³⁷⁾

成形法としては、強化繊維を半硬化の樹脂で固めてシート状にしたプリプレグを所定の位置に配置・積層し、真空バッグした状態でオートクレーブと呼ばれる釜の中で加熱・加圧して硬化させる。また長所としての特徴は、安定した品質であるため力学特性が良好であることであるが、一方で、エポキシ系プリプレグなどは、一般に冷凍保存が必要で有効期限があることや、エポキシ系プリプレグなどでは一般に常温下で徐々に硬化が進むため、温度及び時間管理が必要になるなど、管理上の複雑さやコスト高などが挙げられる。プリプレグレイアップ法をさらに分類すると、ハンドレイアップ法と自動レイアップ法がある。小さな部品や試作品などの少量生産品では作業者がプリプレグを裁断して積層するハンドレイアップ法が、大きな部品や量産品では自動レイアップ法が一般にコスト上有利となる⁽³⁸⁾。なお、この自動レイアップ法はF-2戦闘機に採用されている(図15)。

4-7. 事例のまとめ

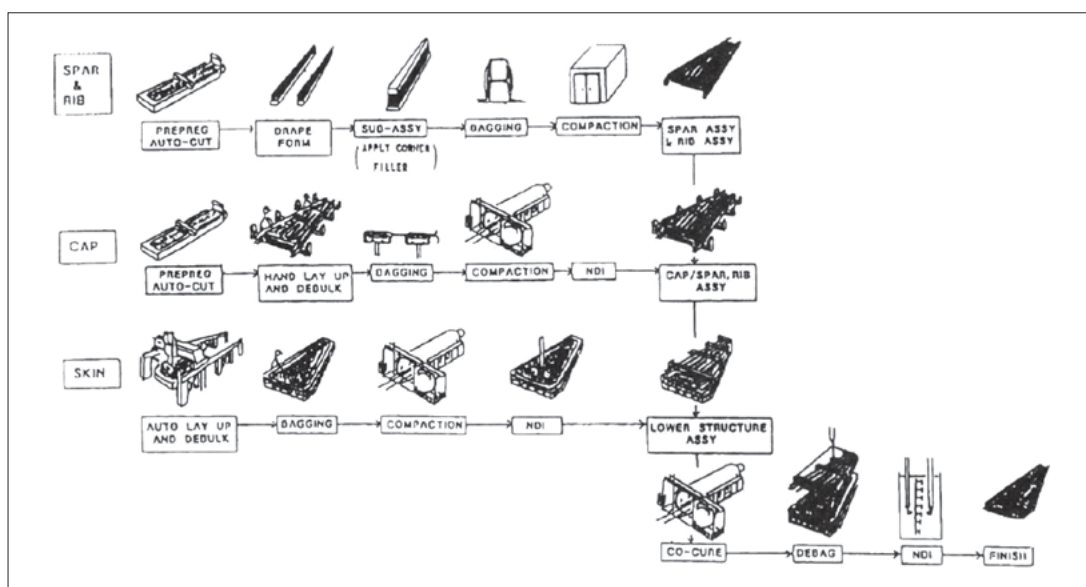
この章では、F-2戦闘機の開発において、3つのことを明らかにした。最初にF-2戦闘機の開発経緯を整理することによって、当時の日本が置かれていた政治的あるいは経済的な逆風の中で、防衛庁および航空産業・防衛産業が一体となって純国産戦闘機の開発に取り組んできたことを示した。第2に、共同開発の相手である米国ロッキード・マーティン社および競合機種のひとつとされたF-16戦闘機の概要を整理することによって、米国の防衛産業の強さ、特に戦闘機の開発に関しては日本のそれとは比べものにならないほど強大、かつ実績も豊富であることを示した。最後に日本の強さ、すなわち「モノづくり」の重要性を示した。「CFRP」という素材およびその一体成形加工技術の蓄積があったからこそ、米国の政治や防衛産業と伍して戦える環境をつくり、そのことがF-2戦闘機の主翼に世界で初めて採用

表9 航空宇宙用複合材の主要な成形法

オートクレーブ成形法	プリプレグレイアップ法	ハンドレイアップ法 自動レイアップ法	
	フィラメントワインディング法		
	ファイバープレースメント法		
	リッキドモールドイング法	RFI (Resin Film Infusion) 法 RTM (Resin Transfer Molding) 法	
脱オートクレーブ成形法	真空圧・オープン加熱成形法		
	ブルトルージョン法		
	ファイバープレースメント法	ダイレクトコンソリデーション法	
	リッキドモールドイング法	RTM (Resin Transfer Molding) 法 VaRTM (Vacuum assisted Resin Transfer Molding) 法	
	新エネルギー硬化法	電子線硬化法	
		紫外線硬化法 放射線硬化法	

(出所) 邊 吾一・石川隆司 (2005) 『先進複合材料工学』 培風館

図15 複合材一体成形主翼の製造工程 (F-2)



(出所) 『先進複合材料工学』 培風館⁽³⁹⁾

するといった実績に結びつけることができたのではないだろうか。そして米国を凌駕するほどの技術力と競争力は、今では世界の航空機産業に構造変化を与えはじめている。

また日本のF-2戦闘機と異なり、米国の最新鋭戦闘機では今も主翼などの重要な一次構材にCFRPを使っていない。これは先に述べたように、運用や用途に応じた機体を開発しているため、大型化や重量化といった場面に対して課題と認識しておらず、軽量化を必要としていないからであろう。日本と米国

ではそもそも戦闘機に求める機能や性能が異なり、その機能や性能に対する日米の問題発見（認識）や課題解決（解決策）の違いがあるのかも知れない。

5. 考察

5-1. 防衛産業の制約条件とイノベーション

F-2戦闘機開発における CFRP 一体成形加工技術の事例研究では、それまで米国優位とされていた軍需・民需の航空機産業において、日本のある素材とその成形加工に関する先端技術が優位に立ち、それがひいては民間航空機産業における競争優位にもつながっていったことを示した。

日本の素材産業や防衛産業が、CFRP といった最先端素材や一体成形加工技術の研究開発に長い期間注力し、成功を収めた原動力というのは、防衛産業特有の様々な制約条件をクリアするために、新たな技術的課題に取り組まなければならなかったことに他ならない。反対に言えば、欧米諸国のケミカル・ジャイアントや防衛企業が CFRP 素材の開発に注力しなかった、あるいは優先しなかった最大の理由は、欧米諸国における制約条件が少なく、そもそもイノベーションの必要がなかったためと言える。日本の防衛産業のように多くの制約を受けている産業では、研究開発に供する予算も他国に比べて大幅に少なく、研究開発案件も厳選されていた。そのため容易に事業の獲得や成功が見込めないのも、事業成果が得られるためのビジネス・コンセプトや、そのコンセプトを実現するためのイノベーション・プロセスのストーリーを描き、実現させることに積極的に取り組むことになったのではないだろうか。

楠木（2001）や長内（2006）では、ある種の制約条件が競争環境を刺激し、イノベーションを促進することが示されている。本研究の事例では、既存研究の「競争環境における制約条件」とは状況が少し異なるが、我が国の憲法を柱とした防衛省・自衛隊の組織や装備、運用などの制限が防衛産業に「制約条件」を課し、そのことが製品開発プロジェクトを容易に事業成果に結びつきにくい状況を生み出していたと推察することができる。しかしその制約条件は、防衛産業に携わる開発当事者によって製品や事業のコンセプト立案を先鋭化させ、より効果的で効率的な製品開発の方向に誘っているということが考えられないだろうか。もちろん、制約条件が自ずとイノベーションを誘発するというのではないのかもしれない。野中・徳岡（2012）では、制約条件下でビジネス・モデルのイノベーションを起こすための条件について議論をしている。ここでは、制約条件（「しがらみ」）は打破すべきものと議論されているが、そのためには打破すべき制約条件を認識しなければならない。言い換えれば、それは製品開発のターゲットとして課題やコンセプトを明確にするということであって、すなわち打開可能な制約条件というのは、コンセプトの先鋭化にとってプラスの側面があるのかもしれない。

Hughes（1983）では、技術システムの成長を阻害する箇所のことを「逆突出部」と呼び、それはシステム内部にあるというよりも、例えば法律・慣行・政治・文化・自然他の関連システムであると考えられる。この議論について、宮崎（2002）では次のように述べている。「『逆突出部と決定的問題』という概念は、ヒューズの「技術システム・アプローチ」の中でマイクロとマクロを架橋する重要な役目を果たしている。マクロ的に『戦況』を鳥瞰することで技術システムの成長を阻害している逆突出部の認識が可能になる。それと対応して、逆突出部に関連づけられる技術システム内のマイクロな技術的要素が決定的

問題として解決の俎上にはのぼる」(宮崎, 2002)。F-2戦闘機開発の事例で言えば、外生的制約が逆突出部と同義になり、それを解決する手段は、万能機の開発から機体の軽量化、CFRP 一体成形加工技術へとミクロ的な技術的要素へと明確化されていったと言えないだろうか。

一方で制約を受けて開発された日本の「万能機」は、見方を変えれば性能要求は高度で難易度が高いが、より形式知化され明確になっていると言える。すなわち、形式知化された要求に対して技術的な課題をクリアすれば制約はクリアできるのである。むしろ米国の多品種化された軍用機のほうは、多くの要求が細分化されているため、開発リソースが分散されるという日本とは質の異なる制約があるのかも知れない。

5-2. 防衛産業の価値創造と戦略ストーリー

また、延岡 (2011)、楠木 (2006 ; 2010) および長内・榊原 (2012) では、競争優位の持続的な源泉として、顧客価値の創造が重要であり、競合他社との差別化が必要であることが示されている。そしてそのためには、コンセプトづくりや戦略ストーリーを描かなければならないと主張した。本研究の事例で紹介した、日本の企業によって開発されたCFRPの一体成形加工技術は素材の進化とともに発展してきている。もともと防衛産業という価格競争になり難しく、コモディティ化の心配も必要ない市場から、あらたな民生市場への展開 (具体的には民間航空機産業への進出) を経て大きく成長した現在の状況は目を見張るものがあるが、その一方で各国の後発企業が参入するなど、競争環境も激しくなっている。こうした環境においても日本の産業が競争優位に立っていられるということは、CFRPの素材や一体成形加工技術のイノベーション・プロセスにおいて、最初に民生展開を視野に入れた戦略ストーリーを描いていたからこそ、明確な製品コンセプトを持ち、価値創造の実現に結びつけたものと解釈できるのではないだろうか。

先述したとおり、当時このCFRP一体成形加工技術は、欧米企業でも研究レベルでは進められていたが、実用化には至っていなかった。結果的にこの技術は、米国国防総省や米国内の防衛各企業に無償で提供されたが、そのことがかえって、航空機の機体へCFRP採用を広めるきっかけになったのかも知れない。もし日本がF-2戦闘機の開発において、日本の独自技術を囲い込んでしまっていたら、米国は金属の高強度化や軽量化に取り組んでいたと思われ、CFRPや一体成形加工技術の発展や市場拡大は生起していないと思われる。

現在、この日本の技術は環境への影響や燃費改善の必要性、さらには社会の注目を背景として、ボーイング787の主要部品である主翼や前胴部などにも広く採用されるなど、必要不可欠になってきている。

具体的には、三菱重工は1978年 (昭和53年) 年のボーイング767からボーイング社の共同開発に参画しているが、F-2戦闘機の開発後、2000年 (平成12年) にボーイング社と航空機開発の包括契約を締結し、ボーイング787の開発では主翼の設計・製造担当になっている。また東レは、1960年代前半から炭素繊維の研究に取り組み、当初から「さびない」「軽い」「強い」という素材の価値を見抜き、航空機での使用をビジョンに掲げて、ノウハウを積み重ねてきた⁽⁴⁰⁾。その後、日本で唯一ボーイングの認証を取得し、2006年 (平成18年) にはボーイング社と16年間という長期に亘って構造材 (炭素繊維) を独

占的に供給する契約を締結している。この結果、ボーイング787における日本の開発割合は機体だけで35%、エンジンは15%にまで増加している。

こうしたCFRPにおける日本企業の優位性はほんの一例に過ぎず、そのほかにも多くの技術分野で日本の要素技術が世界の航空機に採用されている。例えば、F-2戦闘機のエンジンを米国ジェネラル・エレクトリック社（General Electric；GE）のライセンスにより主契約者として生産してきたIHI（IHI Corporation）は、世界の民間航空機のジェット・エンジンシャフト（軸）のうち、約6割を供給している。また、ブリジストンは1936年（昭和11年）から航空機用タイヤに参入し、現在では座席が100席以上のジェット旅客機向けで4割以上の世界シェアを握っている。なお、ボーイング787に搭載する10本のタイヤはすべてブリジストンがボーイングに独占供給している。

現在、さらなる市場の展開を目指して、自動車産業への採用など大量生産に向けた研究や評価がはじまってきている。防衛産業から民間航空機産業への技術移転は、効果的な技術の発展を優先して製品イノベーションを起こしてきたが、今後は民生市場を中心にした、低価格化と大量生産時における品質の高安定化を追求する効率的なプロセス・イノベーションを優先したストーリーを描いているのかもしれない。

6. おわりに

世界の航空機産業の市場は年間60兆円超と言われる。このうち日本の企業が担っているのは2010年度（平成22年度）では1兆667億円にとどまっている。日本の航空機産業はこれまで防衛に頼る傾向が続いていたが、将来的には民需の成長によって、その比率が逆転すると予想されている。今後、日本の強みとする部品や素材、製造技術などでシェアを拡大していくと同時に現在、国内各社が開発中の「次世代リージョナル・ジェット機」では、サプライヤーにとどまらず完成機メーカーとしての期待も大きい。

本稿で得られた知見は「防衛産業」という一部の産業に焦点をあてたものであるため、限定されたものではあるが、次のように学術的・実務的なインプリケーションを示すことができるのではないかな。

まず第1に、イノベーションと制約の関係性である。これまでの議論では、「制約」はネガティブな事象として捉え、企業あるいは組織は「制約をコントロールする」、あるいは「制約を乗り越える」ことによって、イノベーションを活性化させるという主張がされてきた。しかし本研究で取り上げたように、企業や組織が制御できない制約、すなわち法的な規制がもともと存在し、それを要因として市場が制限されているような産業（本稿で取り上げた防衛産業のほか、経済活動が影響を受ける産業）では、むしろその制約をポジティブな事象として捉え、上手に活用することによって新たなイノベーションを生み出していくことが示唆されるのではないかな。

そして第2には、制約を外生的に受けている産業は、イノベーションから顧客価値を創造するにあたり、制約を受けている産業から制約を受けない産業への技術移転を想定したビジネス・プランを構築すると言えないだろうか。なぜならば、制約を受けている産業とは経済活動を行う市場自体が制約されているということであり、より成長が期待できる制約を受けない市場を新たに創造することによって、価

値を創造し、価値獲得を図ると考えられないだろうか。

なお、本稿では制約とイノベーションの関係性を「防衛産業」という、そもそも大きな制約が外生的に働いている産業に焦点をあてて探索を試みたものである。したがって、まずはこの仮説を実証的に検証することが重要である。そしてさらに、この仮説が同じように（規制などの）制約を受ける他の産業に関しても同様の当てはめが可能であるのか更なる検証を行い、本研究との接合点を見出す必要がある。具体的には、民間航空機産業や宇宙産業など、本研究で取り上げた防衛産業と類似性の高い産業が挙げられる。

さらに本研究の過程では、米国防衛産業の強さも分析の中で明らかになった。日本の防衛産業とは制約的にも構造的にも大きく異なる米国防衛産業の強さの源泉について、本研究とは対象的な事例研究として検証を試みたい。これらの研究を最終的に結合することによって、日本と米国の防衛産業におけるイノベーション発生要因の差異や日本という市場で制約が大きい産業の共通したイノベーション発生要因といった知見が得られるかもしれない。

注

- 1：日本国憲法の前文および第2章「戦争の放棄」9条〔戦争の放棄と戦力及び交戦権の否認〕
- 2：引用：野中郁次郎・徳岡晃一郎（2012）『ビジネスモデル・イノベーション—知を価値に転換する賢慮の戦略論』東洋経済，p. 255.
- 3：外国為替及び外国貿易法に基づいて実施する安全保障貿易管理などによって、国際的枠組み（国際輸出管理レジーム）の中で国際社会と協調して輸出等を管理し、武器や軍事転用可能な貨物・技術が、我が国及び国際社会の安全性を脅かす国家やテロリスト等、懸念活動を行うおそれのある者に渡ることを防いでいる。
- 4：1967年（昭和42年）4月21日衆議院決算委員会、佐藤栄作内閣総理大臣答弁および1976年（昭和51年）2月27日衆議院予算委員会、三木武夫内閣総理大臣答弁による。
- 5：引用：社団法人日本航空宇宙工業会（平成15年）「第1章 戦前の航空機工業と戦後の再建」『日本の航空宇宙工業50年の歩み』pp. 7.
- 6：引用：社団法人日本航空宇宙工業会（平成15年）「第1章 戦前の航空機工業と戦後の再建」『日本の航空宇宙工業50年の歩み』p. 9.
- 7：石川島播磨、富士重工、富士精密、新三菱の4社が共同出資して日本独自のジェット・エンジンを開発する企業を設立。その後、石川島播磨が事業を引き継ぎ解散した。
- 8：引用：『防衛生産・技術基盤研究会最終報告—「生きた戦略」の構築に向けて—』（防衛生産・技術基盤研究会，平成24年）の別添資料3「諸外国の防衛産業政策」p. 1.
- 9：米国：① Boeing, ② Raytheon, ③ Northrop Grumman, ④ Lockheed Martin, ⑤ General Dynamics 英国：BAE Systems 仏国：① Thales, ② EADS, ③ Dassault Aviation, ④ DCNS, ⑤ Nexter
- 10：引用：広瀬隆（2001）『アメリカの巨大軍需産業』集英社，pp. 121-122.
- 11：民間航空機の製造は Boeing や Airbus に代表される大型ジェット旅客機のほかにも、カナダの Bombardier やブラジルの Embraer が挙げられる。この2社が生産するリージョナル・ジェット旅客機市場には、日本でも三菱航空機や本田技研工業が新規参入を果たしている。本稿では、研究開発費用が大きく、要素技術の開発に伴うイノベーションが起こりやすいと考えられる軍用機や大型ジェット旅客機を議論の対象とするため、リージョナル・ジェット旅客機および航空機メーカーは条件に加えていない。
- 12：当時“仮想敵国”であったソ連が保有する戦闘機の航続距離の増大に伴い、F-1支援戦闘機が配備されていた三沢基地はミグ23など敵戦闘機の行動半径内にあった。したがって次期支援戦闘機 FS-X は敵戦闘機の行動半径外である宮城県松島基地から発進、稚内正面への上陸侵攻船団への対艦攻撃をすることを想定、国産の ASM-1対艦ミサイル4発、空対空ミサイル2発を積んでの戦闘行動半径450マイル（830キロメートル）とされた。
- 13：出所：手嶋龍一（2006）『たそがれゆく日米同盟—ニッポン FSX を撃て—』新潮文庫，pp. 52-53.
- 14：参議院質問主意書に対する答弁書第二号 内閣参賛一〇第二号（昭和六十二年十一月二十四日）より抜粋。

- 15：出所：手嶋龍一（2006）『たそがれゆく日米同盟－ニッポン FSX を撃て－』新潮文庫，p. 85。
FS-X の選定にあたっての日本政府の基本姿勢を内外に明らかにする必要から、1987年（昭和62年）春、栗原防衛庁長官（当時）が発表。（一）純軍事的な見地から検討を進める。（二）日米のインター・オペラビリティに配慮する。（三）日米双方の防衛産業の圧力を受けない。
- 16：1970年代の繊維製品・鉄鋼・カラーテレビ、1980年代の自動車・半導体・農産物（米・牛肉・オレンジ）、更に1985年にアメリカの対日赤字が500億ドルに達したことをきっかけに、日本の投資・金融・サービス市場の閉鎖性によってアメリカ企業が参入しにくいことが批判され（ジャパンバッシング）、事実上日米間経済のほとんどの分野で摩擦が生じるようになった。
- 17：東芝の子会社が製造した金属工作機械がココム規制（対共産圏輸出規制）に違反してソ連へ輸出された。その結果、ソ連原子力潜水艦を探知することが困難になったとし、日米経済摩擦を背景にアメリカにおける対日批判がエスカレートした。
- 18：リビアの首都トリポリの南方で大型化学工場建設の計画があり、そこが化学兵器工場で、かつ日本の三菱重工のほか数社が関与しているという疑惑が持ち上がった。この事件は反 FS-X 推進派の米議会議員の働きかけに利用された。
- 19：ジェネラル・ダイナミックス社（General Dynamics Corporation）は、1992年に軍用機部門をロッキード社（Lockheed Corporation）に売却した。1995年にはマーティン・マリエッタ社（Martin Marietta）と合併し、現在はロッキード・マーティン社（Lockheed Martin）が F-16 戦闘機の生産を行っている。（図 4 参照）
- 20：出所：Lockheed Martin ホームページ：http://www.lockheedmartin.com/us/news/press-releases/2012/april/120403ae_4500th-f16-delivered.html（閲覧：2013年12月10日）
- 21：United States General Accounting Office（1990）U.S.-Japan Codevelopment Review of the FS-X Program, GAO/NSIAD-90-77BR, p. 20.
- 22：出所：「FSX 来月、開発に着手 三菱重工重など4社」『朝日新聞』（1990年2月21日）
- 23：出所：三菱重工 HP：http://www.mhi.co.jp/products/detail/f-2_close_support_fighter.html（閲覧：2013年12月4日）
- 24：引用：「日米防衛当局、FSX、技術移転決着－「一体成型」無償で米社に。」『日本経済新聞』（1995年11月8日）
- 25：強化プラスチック協会の下部委員会。1978年に炭素繊維懇話会として発足し、1988年に炭素繊維協会と改称した。
- 26：引用：『炭素繊維の最先端技術』シーエムシー出版，pp. 7-8.
- 27：引用：日本経済新聞ホームページ（全図解ニュース解説）<http://www.nikkei4946.com/zenzukai/detail.aspx?zenzukai=QIPiEow8Z12OTsl79XJJcw%3D%3D>（閲覧：2013年12月17日）
- 28：引用：日本経済新聞ホームページ（全図解ニュース解説）<http://www.nikkei4946.com/zenzukai/detail.aspx?zenzukai=QIPiEow8Z12OTsl79XJJcw%3d%3d>（閲覧：2013年12月17日）
- 29：引用：炭素繊維協会ホームページ（PAN 系各社の炭素繊維開発の歴史）<http://www.carbonfiber.gr.jp/tech/pan.html>（閲覧：2013年12月18日）
- 30：引用：日本自動車工業会ホームページ（JAMAGAGINE）<http://www.jama.or.jp/lib/jamagazine/201002/05.html>（閲覧：2013年12月18日）
- 31：引用：日本自動車工業会ホームページ（JAMAGAGINE）<http://www.jama.or.jp/lib/jamagazine/200603/06.html>（閲覧：2013年12月18日）
- 32：引用：高松亨（2002）「PAN 系炭素繊維の開発」『戦後日本の技術形成』日本経済評論社，p. 83.
- 33：引用：「炭素繊維の成功を信じて 5 人の社長が赤字に耐えた」（2007）『週刊東洋経済』，p. 103.
- 34：DoD Industrial Policy, “Polyacrylonitrile (PAN) Carbon Fibers Industrial Capability Assessment”, Oct. 2005, p. 4.
- 35：引用：邊 吾一・石川隆司（2005）『先進複合材料工学』培風館，p. 27.
- 36：引用：邊 吾一・石川隆司（2005）『先進複合材料工学』培風館，p. 31.
- 37：引用：邊 吾一・石川隆司（2005）『先進複合材料工学』培風館，p. 28.
- 38：引用：邊 吾一・石川隆司（2005）『先進複合材料工学』培風館，p. 22.
- 39：引用：景山・荒田・横山・小祝・吉田・吉田・星（2002）「XF-2の一体成形複合材主翼構造の開発」『日本複合材料学会誌』第28巻，第2号，p. 81.
- 40：ナインシグマ・ジャパンホームページ：<http://www.ninesigma.co.jp/talk/vol5/02.html>（閲覧：2013年12月20日）

参考文献

- DoD Industrial Policy, "Polyacrylonitrile (PAN) Carbon Fibers Industrial Capability Assessment," Oct. 2005, p. 4.
- Hughes, T. P. (1983) *Networks of Power: Electrification in Western Society, 1880-1930*, Baltimore, MD : Johns Hopkins University Press. (市場泰男訳『電力の歴史』、平凡社、1996年)
- Kamien, M. I. and N. L. Schwartz (1982) *Market Structure and Innovation*, Cambridge : Cambridge University Press.
- Porter, M. E. (1991) "America's Green Strategy," *Scientific American*, Vol. 264, No. 4 (April), p. 168.
- and C. van der Linde (1995) "Toward a New Conception of the Environment-Competitiveness Relationship," *Journal of Economic Perspectives*, Vol. 9, No. 4, pp. 97-118.
- United States General Accounting Office (1989) *U.S.-Japan FS-X Codevelopment Progress*, GAO/T-NSIAD-89-32.
- United States General Accounting Office (1990) *U.S.-Japan Codevelopment Review of the FS-X Program*, GAO/NSIAD-90-77BR.
- United States General Accounting Office (1995) *U.S.-Japan Cooperative development Progress on the FS-X Program Enhances Japanese Aerospace Capabilities*, GAO/NSIAD-95-145.
- United States General Accounting Office (1997) *U.S.-Japan Fighter Aircraft Agreement on F-2 Production*, GAO/NSIAD-97-76.
- 有村俊秀・杉野誠 (2013) 「環境規制の技術革新への影響：企業レベル環境関連研究開発支出データによるポーター仮説の検証」、研究・イノベーション学会『研究 技術 計画』第23巻、第3号。
- 長内厚 (2006) 「組織分離と既存資源活用のジレンマ：ソニーのカラーテレビ事業における新旧技術の統合」、『組織科学』Vol.40, No.1, pp. 84-96.
- 長内厚・榊原清則編 (2012) 『アフターマーケット戦略：コモディティ化を防ぐコマツのソリューション・ビジネス』東京：白桃書房
- 景山正美・荒田昇・横山映・小祝弘道・吉田慎一・吉田幹根・星恒憲 (2002) 「XF-2の一体成形複合材主翼構造の開発」、『日本複合材料学会誌』第28巻、第2号、pp. 80-84.
- 神田國一・亀山忠史・小山敏行・川崎治憲 (1996) 「次期支援戦闘機 "XF-2" の開発」、『三菱重工技報』Vol.33, No.3, pp. 154-155.
- 楠木建 (2001) 「価値分化：製品コンセプトのイノベーションを組織化する」、『組織科学』Vol.35, No.2, pp. 16-37.
- (2006) 「カテゴリー・イノベーション：脱コモディティ化の論理」、『組織科学』Vol.39, No.3, pp. 4-18.
- (2010) 『ストーリーとしての競争戦略：優れた戦略の条件』、東京：東洋経済新報社
- 近能善範・高井文子 (2010) 『コア・テキスト イノベーション・マネジメント』東京：新世社
- ジョン・パーマー (John, Palmer) (2010) 「日本の防衛産業は今後如何にあるべきか?」『防衛研究所紀要』第12巻、第2・3合併号、pp. 115-145.
- 社団法人日本航空宇宙工業会 (平成15年) 「第1章 戦前の航空機工業と戦後の再建」『日本の航空宇宙工業50年の歩み』pp. 6-11.
- 社団法人日本航空宇宙工業会 (平成15年) 「第5章 60年代以降：国際共同開発の本格化」『日本の航空宇宙工業50年の歩み』pp. 51-53.
- 手嶋龍一 (2006) 『たそがれゆく日米同盟：ニッポン FSX を撃て-』東京：新潮文庫
- 東洋経済新報社 「炭素繊維の成功を信じて5人の社長が赤字に耐えた」(2007) 『週刊東洋経済』
- 中岡哲郎 (2002) 「PAN系炭素繊維の開発」、中岡哲郎編著『戦後日本の技術形成：模倣か創造か』東京：日本経済評論社、pp. 59-93.
- 野中郁次郎・徳岡晃一郎 (2009) 「ビジネスモデル・イノベーション」、『一橋ビジネスレビュー』第57巻、第3号、pp. 96-115.
- 編著 (2012) 『ビジネスモデル・イノベーション：知を価値に転換する賢慮の戦略論』東京：東洋経済新報社
- 延岡健太郎 (2011) 『価値づくり経営の論理：日本製造業の生きる道』東京：日本経済新聞出版社
- 橋口幸夫 (1972) 「軍事大国化と防衛産業：日本における産軍複合体について」、鹿児島県立短期大学『商経論叢』第21号、pp. 49-79.
- 一橋大学イノベーション研究センター編 (2001) 『イノベーション・マネジメント入門』東京：日本経済新聞社
- 広瀬隆 (2001) 『アメリカの巨大軍需産業』東京：集英社
- 防衛生産・技術基盤研究会 (平成24年) 『防衛生産・技術基盤研究会最終報告：「生きた戦略」の構築に向けて』
- 防衛庁編「平成25年版 日本の防衛」防衛白書
- 邊吾一・石川隆司 (2005) 『先進複合材料工学』東京：培風館

- 前田豊監修 (2007) 『炭素繊維の最先端技術』 東京：シーエムシー出版
- 宮崎正也 (2002) 「技術システム・アプローチ：ヒューズ『電力の歴史』精読」、『赤門マネジメント・レビュー』第1巻, 第5号, pp. 385-404.
- 山崎文徳 (2006) 「対日「依存」問題と米国の技術収奪：FSX 開発における対米技術供与を事例に」、大阪市立大学『経営研究』第57巻, 第3号, pp. 99-120.
 - － (2009) 「民生技術に対する軍事技術の影響について技術論的考察：技術の利用・取得・移転をめぐって」、大阪市立大学『経営研究』第59巻, 第4号, pp. 279-301.

