

○吉川宗史郎（技術研究組合フェムト秒テクノロジー研究機構）

はじめに

フェムト秒テクノロジー（FST¹）は、経済産業省研究開発プログラムを構成するプロジェクトとして新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）から技術研究組合フェムト秒テクノロジー研究機構（FESTA²）に委託され、産業技術総合研究所（産総研）と共同して、95年度（西暦）から10年計画で推進している。基礎的研究から始めた超高速光通信用全光制御デバイスの開発³では、現状より2桁高速化も可能で、世界をリードしている。その開発成果実用化に向けての戦略と直面する課題を紹介し、フロントランナー型技術の実用化方策について考察する。

1 FSTプロジェクト・マネジメントの経過

1-1 幸運に救われた第1期

FSTは「テクノグローバリズムを全世界に率先して実施する」⁴という研究開発プロジェクト基礎シフトの流れに沿って、はじめてのプロジェクト先導研究（93～94年度）が行われ、発足当初は、新しい技術体系の基盤技術を構築すべく様々な応用を念頭においたシーズ志向の基礎的研究を目指した。

しかし、発足時に突然時代が変わり、97年度から、超高速光通信用全光制御デバイスに応用目的を統一し、500フェムト秒（fs）以下の超短光パルスを扱い、一波長当たり1テラビット/秒（Tb/s）以上（現状 10Gb/sより2桁上）の超高速光通信システムの実現を可能とするデバイス技術の確立を目指すよう基本計画を変更した。理論的に予測されたが実現されていなかったものをはじめ優れた新デバイス原理を扱ったため、世界初、世界最高記録が続出し、幸い、99年には3

人の受賞者が出るなど一気に花開いた。

制度改革に伴い予定より1年前倒しで中間評価を受けたが、中間目標達成の目処と「産業技術戦略」⁵を先取りした第2期展望が間に合い「本プロジェクトは先見性のあるテーマ設定と計画並びにしっかりとした体制で概ね効率的に運営されている。世界的な優位性、実用化までの距離等を評価できる段階ではないが、独創的で新規性の高い成果も多く得られ、順調に推移している。」との総合評価⁶を得た。

1-2 激動した第2期の黎明期

第2期（01年度から4年間）基本計画検討時期には、再び時代の底流が変わりつつあり、実用化を早めるようにとの強い要求を受けた。当時としては「デバイス開発の定石」から見ると展望がなかったが、結局、「国の指示事項」として通信システム技術の研究者を集め、システム検討委員会を編成し、試作デバイスの最終目標仕様にその要求を反映させることで調整がついた。

システム技術研究者へ協力依頼するための訪問説明、FESTA集中研への招待見学・詳細技術レクチャーなどを経て、00年秋、FESTA開発デバイスを用いた超高速通信システム検討委員会編成によりやく成功した。早速、FESTAの自主事業として委員会を発足させ、全てのFESTA開発デバイスの技術展望、海外動向、光テクノロジー・ロードマップ⁷での位置付けなどの丁寧なレクチャーで注意深く委員の理解と協力を得るための手順を尽くしたのち、第2期初年度（01年度）に入り正式な委託事業の委員会に切替えて、システム技術研究者側からデバイスをシステムに応用するアイデアの提案を得るように進めた。

1-3 第2期前半での実用化への戦略

第1期成果のPRとその利活用を推進するため、産総研と共同で01年秋に初めての「FSTフォーラム」を都内で開催した。300人余の参加があり、一般企業が46%、組合員企業が19%と圧倒的に企業参加者

¹ Femtosecond Technology : FSTとは、その提唱者によって「フェムト秒時間領域で起る超高速エレクトロニクスと量子光学に基づいた革新的かつ基盤的な新産業技術の源泉」と定義されたという¹わが国発の造語である。

² The Femtosecond Technology Research Association

³ 「逆コンプトン散乱によるフェムト秒単色高エネルギーX線パルスの発生・計測技術」との2本柱であるが、今回は割愛する。

が多かった。しかも9%に当たる28名が製品技術開発を先導するとされる計測器メーカー14社からであった。前述したシステム検討委員会、FESTAプロジェクトリーダーの技術営業努力等も併せ多くの反響があり、進行中は別として、契約済みは、FESTA側が提供するデバイスを通信用システムに応用しようとする共同研究4件である。

予算上の不透明感もさることながら実用レベルにより近い成果とする配慮から、今春、推進目標を変更した。03年度中には、ほとんどのデバイスをともかくもシステム研究者が扱えるモジュール形態にして、システム応用・評価用にわずかな数であっても提供し始められるように是非ともしたいと考えている。なお、その強力な推進には補助金等適正化法第22条(財産の処分の制限)の制約を克服する必要があるであろうと見ている。

さらに、超高速光デバイス採用への機運が盛り上がるよう、03年7月、超高速フォトニックテクノロジー日欧米シンポジウムを開催する。

なお、FESTAホームページ⁴の総アクセス件数が、99～00年度の約1万件/月に対し01～02年度ははっきりと1.5～2倍にステップアップし、内外の注目(約2割が海外アクセスと推定)を受けるようになったことを示している。

2 FSTをめぐる世界的動向

欧州では、FSTプロジェクトを参考にして、99年の英国UPC⁵を皮切りに、00年に独国TOB⁶、01年にEUのFASHION⁷、TOPRATE⁸が開始、さらに蘭国でFEAT⁹提案と並行して02年に研究者受入れ要請がFESTAにもたらされた。また、欧州最大の通信システム国際学会ECOC¹⁰には、01年、02年連続でFESTAが各1名の講演招待を受けた。

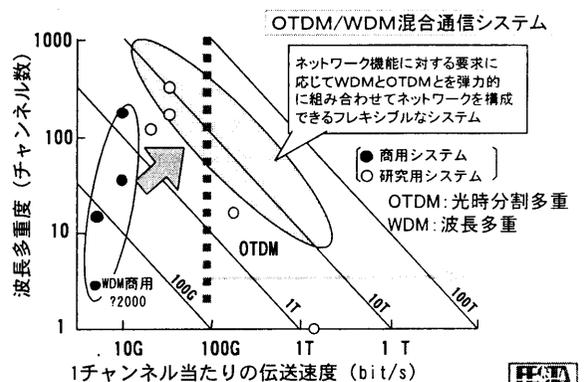
他方、波長多重(WDM¹¹)伝送方式で世界通信システム市場を席卷した米国では、かつてFESTA

の組合員であったルーセントが光時分割多重(OTDM¹²)伝送や超高速光スイッチ等に幅広く注力、MIT 大学がDARPAから超高速伝送関連研究を受託している程度である。しかしながら、01年秋、最大のレーザー関連国際学会LEOS¹³の基調講演にFESTA研究所長が招待され、02年秋にはFESTAから2名が講演招待を受けた。また、今春、世界最大の通信システム国際学会OFC¹⁴2002では初めてOTDM専門セッションが2つ設けられ、欧州勢を中心に日、米含めた研究発表がなされた。来年3月のOFC2003には、FESTAとしては初めての講演招待(2名)を受けている

3 FST開発成果の実用化システムの想定

将来の超高速フォトニックネットワークでは、同じ総伝送容量に対してもノード処理方法、伝送距離、ネットワーク監視等の技術的観点と経済性からOTDM/WDM混合の最適組合せが求められると予想して、FESTAは図1を提案している¹⁶。

図1 将来の通信システム展望(FESTAの提案)



光通信システム伝送大容量化の技術の流れを見ると、80年代まではチャンネル伝送速度向上による時間多重度の増加、90年代には波長多重(WDM)方式が加わり、波長数を増加させた高密度波長多重(Dense WDM)へと発展しつつある。しかし、信号の切替え(ノード)処理機器の設置面積・消費電力、ネットワーク監視等運用面からの制約がネックとなっている¹⁶。

⁴ URL: <http://www.festa.or.jp>

⁵ Ultrafast Photonics Collaboration(St. Andrews 大学他)

⁶ Terabit Optics Berlin(HII 他)

⁷ ultraFAst Switching in HI-speed Otdm Network(Siemens 他)

⁸ Terabit/s Optical Transmission Systems based on Ultrahigh Channel Bitrate(Alcatel 他)

⁹ Femtosecond technologies & its Application to Telecommunication(Eindhoven 大学他)

¹⁰ European Conference on Optical Communication

¹¹ Wavelength Division Multiplexing

¹² Optical Time Division Multiplexing

¹³ Laser & Electro-Optics Society

¹⁴ Optical Fiber Communication Conference

もうひとつの伝送大容量化技術の切り口である一波長当りのチャンネル伝送速度向上に関しても研究面では着実な取り組みが進んでいる。しかし、概ね100Gb/s以上の信号送受信・処理には制御光で信号光を処理する「全光処理」が必要になり⁶⁾、FESTAが開発している動作の安定性に優れた半導体を中心とした全光制御デバイスがそこに適用できる。

4 革新的デバイスの産業化プロセス

FESTAの全光制御デバイスは、もちろん既存システムの一部を置換するケースもあるが、ここでは、ロマンとしての OTDM/WDM 混合通信システムを例にとってその実現プロセスを検討してみた。

FESTAは、表1の太字で示したキーとなるデバイス技術の開発を手がけているに過ぎないし、未だかつて存在していなかった新動作原理に基づくFESTAの超高速全光制御デバイスを使いこなすシステム技術が既に存在しているとは考えにくい。したがって、FSTプロジェクトが仮に成功裏に終了しても、自動的にロマンが実現するわけではなさそうである。

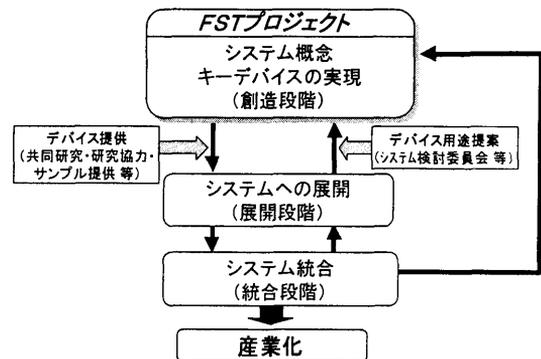
表1 OTDM/WDM 混合通信システム用デバイス

● WDM用デバイス(100?数100波)
・波長可変レーザ ・多波長光源 ・波長変換レーザ ・波長可変フィルタ
・広帯域光アンプ ・広帯域合・分波器 ・MEMS
○ 性能は、まだまだ満足されているわけではないが、何とかがって行ける段階。
○ 大きな課題は、アンプの広帯域化、低コスト化。
● WDM/OTDM用デバイス(100 Gb/s?1 Tb/s)
・超高速光源 ・超高速光スイッチ、波長スイッチ
・超短パルス伝送技術 ・分散補償技術、非線形性補償技術
○ デバイスがシステムの中で使える状況になっていない。
● 新機能デバイス・要素技術
・光2R、3R ・光RAM、光メモリ ・超小型導波路(フォトニック結晶)
・超高速信号処理
○ これらが誕生すれば、光技術の使われ方が大きく変身する。

図2は、末松安晴国立情報学研究所長の講演資料に具体的事例を加筆したものであり、FESTA開発デバイスを用いて OTDM/WDM 混合通信システムを実現していくプロセスであると考えている。FESTAが革新的デバイスを創造しシステム研究者に提供を開始すると、そのデバイスを使ってシステム研究者が各種システム要素またはサブシステムをFESTAとの相互フィードバックの下で開発し、そのすべて又はいくつかが一つのシステムに統合されて通信システムとしてまとまっていき、その時に再びデバイスに注文が出され、再び同様のプロセスが繰り返され

るという統合システムの創生～成熟までのトランジェントなプロセスを描いている。そして、どこかの通信システムのどれかの階層で市場競争力を得た統合システム(OTDM/WDM 混合通信システム)がその市場に投入され、産業化することを示している。

図2 革新的デバイスの産業化プロセス



平成14年1月30日開催ITワークショップ「情報通信基盤高度化の取り組み」
末松安晴国立情報学研究所長の講演講演資料に一部追加



このプロセスは、OTDM/WDM 混合通信システムが表1のデバイスだけで構成できるとは限らず、やってみるしかないということを物語っている。

すなわち、研究開発制度の枠組みの問題として、従来のような「何をどうやるかが予め解った基本計画があって、そのとおり実行する」計画実行型の枠組ではなく、「必要ならば、整備されたルールに沿って、そもそも研究開発のテーマ、目標、体制をも追加、変更して目的を遂行する」目的遂行型の枠組でなければこのプロセスを円滑かつ適切に運営し難いという問題を提起している。

第2節で紹介した欧州のプロジェクトは、デバイス開発とシステム技術を包括しているので、図2のプロセスの一部がすでに動きはじめていると見られる。また、OFC2002で意外にも、米国大手通信事業会社 Worldcom が、コスト削減が期待できる技術のひとつとして2003～5年頃には160Gb/s システム技術が出現すると予測した。

藤本(2001)⁷⁾は、日本企業は組合せ型かつオープンなアーキテクチャに弱く、米国企業は強いと解説している。通信分野で日本は光デバイスが強いがシステムは弱いと言われている。もし、それが制度枠組みの問題に由来するのならば、次世代通信システ

ム開発では是非とも改善して欲しいものである。

5 フロントランナーとトップランナーの相違点

わが国では、明治以来、キャッチアップ(改良を含む)からトップランナーになるのが通常のルートであったため、国や大企業の研究開発関連諸制度若しくはその運用・評価の「常識」がキャッチアップを前提に最適化されたままの可能性がある。前節で指摘した計画実行型の枠組もキャッチアップであればこそ「何をどうやるかが予め解った基本計画」が作成できるのである。

一方、FESTA開発デバイスには在来デバイスのリプレース用途もあるが、WDMがそうであったようにOTDM/WDM 混合通信システムという画期的な新規サービス市場創生に成功すれば大きな先行者利益を獲得できる。しかし、その目的を遂行するには、図2に示した産業化プロセスを共にする各階層のシステム研究者(wise-user)との共同作業が不可欠であり、その市場投入(実用化)には通信方式標準、規制等社会的障害が予想され、一企業の手には余る。市場創生まで企業体力が続かなければ、当該技術は事業化以前に、いわゆる「死の谷」⁸⁾に転落する。

このように、FST技術は、ロマンを求めて目的遂行型の研究開発枠組で未知の世界を切り開く必要があるという意味で、フロントランナー型技術と呼ぶにふさわしく、市場開拓に成功すると突然トップランナーになるという、キャッチアップとは異なるアプローチをしていると考えられる。フロントランナーを「死の谷」に導く上述した要因をトップランナーの場合と対比して表2に纏めた。

表2 フロントランナー vs. トップランナー
(フロントランナー)は成功して(トップランナー)に

1 在来技術又は市場に対して不連続な部分	1 在来技術又は市場に対して連続性あり
2 wise-user が不可欠	2 競争者との差別化が不可欠
3 画期的な効用	3 改善された効用
4 需要の新規創造	4 需要のリプレースor拡大
5 実用化に社会的障害	5 実用化は市場戦略次第
6 市場創生しうる体力が勝負	6 市場競争力が勝負

表2から明らかなように、競争者との差別化により市場競争力をつけるというトップランナー育成施策に対し、フロントランナー支援施策は、比較にならないほど総合性、継続性、戦略性が要求され、企業間連携や国自らの関与も欠かせない。しかも、中断すれば無に帰す惧れがあるというリスクがあるといえよう。すなわち、「キャッチアップからトップランナー狙い」よりも「フロントランナーからトッ

プランナー狙い」の方が「死の谷」は広く深い。

なお、表3に示す4項目は、表2に掲げた「死の谷」を形成する諸要因を集約し実用化可能性を検討する際のチェックポイントとして取りまとめたものである。

表3 実用化のチェックポイント

①市場連結性	川上から川下へ中間市場が切れ目なく繋がりが、最終消費市場まで到達しているか。
②市場受容性	最終消費市場で高付加価値なサービスを高信頼性を以って提供できるか。
③規律適合性	川上～最終消費市場で各々の事情に基づく業界規律に受動的又は能動的に適合するか。
④市場創生力	川上～最終消費市場で需要を新規創造、拡大、置換するほど既存技術と比較優位か。

まとめ

欧米はシステム重視でFESTAのデバイスに注目しているが、国内で革新的デバイスの産業化プロセスを推進するには、研究開発制度の枠組・運用をフロントランナー支援向きの目的遂行型に変える必要がある。加えて、革新的技術の実用化のために、資金供給以外にも社会的障害の除去等国にしか果たせない重要な役割が存在していることが忘れられてはならない。例えば、「定石」を超えた「国の指示」がFESTAとシステム研究者との協力開始に重要な役割を果たしたという予想外の実績がそれを立証している。

参考文献

- [1] 斎藤富士郎「フェムト秒技術の進歩」、光アライアンス第11巻第3号、pp.2,2000.
- [2] 通商産業省編「産業科学技術の動向と課題」(財)通商産業調査会、1992.
- [3] 通商産業省工業技術院編「産業技術戦略」(財)通商産業調査会、2000.
- [4] 産業技術審議会評価部会フェムト秒テクノロジー評価委員会「フェムト秒テクノロジー研究開発 中間評価報告書」、pp.3,2000.
- [5] (財)光産業技術振興協会編「光テクノロジー・ロードマップ報告書」、2000.
- [6] 岡部正博、桜井照夫「次世代フォトニックネットワーク用超高速光デバイスへの挑戦」月刊オプトロニクス第21巻第4号、pp.122-123,2002.
- [7] 藤本隆宏「技術経営の第三の道とは?アーキテクチャの観点から」研究・技術計画学会第16回シンポジウム講演要旨集、pp.60-63,2001.
- [8] 産業競争力戦略会議「中間取りまとめ-競争力強化のための6つの戦略」、pp.26-27,2002