

【産業技術】

米国と欧州のフェムト秒技術の開発

米国、英国、ドイツを中心としたフェムト秒技術の最新動向について、NEDO技術開発機構よりSRIコンサルティング・ビジネスインテリジェンスInc. (SRIC-BI) に依頼した調査結果について紹介する。

はじめに

超高速オプトエレクトロニクスシステムの開発は非常に広範囲にわたる重要で活動的な分野である。データ転送量増加の継続は、既存の光ファイバーネットワークインフラに対して増大する負担を生じさせている。現在のシステムはその限界に近づいており、現存システムを増大させるか置き換えるための新技術に研究者は目を向けている。フェムト秒技術は、現在開発中の超高速フォトンクスおよびオプトエレクトロニクス開発に係る広範囲な技術の一部を形成している。

政府イニシアチブ

政府は今後ブロードバンド速度を著しく押し上げる必要があり、超高速フォトンクス・ネットワークが開発されることによりこの要求は実現するだろう。例えば、最近、日本政府は2010年までにすべての家庭で毎秒1Gbitの速さを達成させる目標を設定した。米国、欧州および日本の全体的な目標は、毎秒約100テラビット(Tbit/s)でデータ通信を可能にする技術の同定、開発そして最終的な配備である。この目標は、今日のレベルから数オーダーの速度増加を意味している。

研究の焦点

この領域の十分な情報を得るために、特に関連するいくつかの分野の中から、特に国の研究計画と関連した最近の取り組みに注目する。これらの計画は超高速オプトエレクトロニクスのかなりの研究開発を推進している。さらに、特定の最近の取り組みを調べるために、学術誌の探索を行なった。米国と欧州においてなされたこの研究の報告は驚くほど少なく、フェムト秒技術の多くの研究は日本によってなされてきた。(日本の研究者は、1995年から2000年まで公表されたフェムト秒技術に関連する研究報告の75%に関係している。)しかしながら、この調査は、米国および欧州のいくつかの重要な動向と開発を明らかにし、特に英国の最近の取り組みは注目に値する。

各国の研究計画

超高速オプトエレクトロニクスシステム開発にとり、研究計画やイニシアチブは、非常に重要である。重要なプログラムは米国と欧州に存在している。日本のフェムト秒技術研究組合

(FESTA)の存在は、他の国々の国家研究努力の設定を特に駆り立てた。

以下の項目は、各国の研究計画に関する、現在の重要な取り組みおよび動向を強調している。

英国の取り組み

英国貿易産業省(DTI)による最近の報告書「光への切り替え：全光データ処理」は、日本、米国およびドイツの国家の研究取り組みを詳述している。この報告書は次のウェブサイトでダウンロード利用可能である：

[http://www.foresight.gov.uk/Previous_Projects/
Exploiting_the_electromagnetic_spectrum/Reports_and_Publications/
EEMS_State_of_the_Science_Review_Switching_to_light_alloptical_data_handling.html](http://www.foresight.gov.uk/Previous_Projects/Exploiting_the_electromagnetic_spectrum/Reports_and_Publications/EEMS_State_of_the_Science_Review_Switching_to_light_alloptical_data_handling.html)

英国では、いくつかの大学およびコンソーシアムがオプトエレクトロニクス技術を進めている。しかし、大きな研究所は最近の大規模な資金提供の削減を受けている。しかしながら、超高速フォトニック協力(UPC: Ultrafast Photonics Collaboration)は、ある意味では FESTA の存在へのリアクションとして 2000 年に作られた。

UPC は英国を含む学際的研究協力である：

セントアンドリュース大学(セントアンドリュース、スコットランド)
ブリストル大学(ブリストル、英国)
グラスゴー大学(グラスゴー、スコットランド)
ヘリオット - ワット大学(エディンバラ、スコットランド)
インペリアルカレッジ(ロンドン、英国)
ケンブリッジ大学(ケンブリッジ、英国)

UPC の研究はまたいくつかの重要な産業界の関係企業を含んでいる：

アジレント・テクノロジー(www.home.agilent.com)
アルカテル・オプトロニクス(www.alcatel.co.uk)
ブックカム・テクノロジー(www.bookham.com)
ノーテル・ネットワークス(www.nortelnetworks.com)
シャープ欧州研究所(www.sle.sharp.co.uk)

UPC の研究は 3 つの技術領域を含んでいる：

発生と再発生、
ニュー・サイエンスからの新しい素子、そして
サブシステムとネットワーク、の 3 つの技術領域である。

上に述べた DTI 報告書によると、このプロジェクトの目標は、超高速オプトエレクトロニクスを実現するために必要な基本技術を築くためにあり、その超高速オプトエレクトロニクス技術は、現在のエレクトロニクスの運転速度限度を上回り、フェムト秒時間ドメインの光子および電子の制御技術の研究開発を通して新しい機能性を立ち上げる。

特に、興味ある研究は次の領域をカバーしている：

- (i) 超高速現象および超微細プロセス技術の研究開発を通して実現される、一次光源と光スイッチのような素子を含む超高速オプトエレクトロニクス素子技術。これらの素子は、テラビット/秒 通信システムの開発の鍵になる。
 - (ii) フェムト秒レーザー光線のトムソン散乱によって生成された高輝度 X 線ビームのような、超高速高輝度 X 線パルスの発生および計測技術。このような、X 線ビームは高速移動物体の新しい計測技術として利用できる。
- UPC についてのその他の詳細は、www.ultrafast-photonics.org で得られる。

UPC の下で活動的である大学外の研究で非常に興味ある研究が、サザンプトン大学オプトエレクトロニクス研究センター(www.orc.soton.ac.uk)およびストラスクライド大学フェムト秒研究センター(<http://sensor.phys.strath.ac.uk>)で進行中である。

ドイツの取り組み

DTI 報告書は、さらにドイツの研究について記述している：
産業界、大学および国立研究所を含んだ、いくつかの政府資金提供のプログラムが存在する。例えば、MultiTeraNet：
(www.dlr.de/pt_it/kt/foerderbereiche/phototonische_kommunikationsnetze/multiteranet)
ドイツ教育研究省(BMBF)が支援する、3100 万ユーロのプログラムは光ネットワークに注目し 2007 年まで続く。報告書によれば、このプログラムは、"大学/産業コンソーシアムでグループ化され、先端光ネットワーク、伝送システムおよび構成部品の研究開発の側面をすべてカバーする"、40 件のプロジェクトを含んでいる。

米国の取り組み

米国では、国防総省国防高等研究計画局(DARPA)が大学および産業界の研究所のプロジェクトに資金を提供している。特に注目に値するのは、DARRPA が資金提供したプロジェクト DOD-N(光ドメインネットワーク・データ)である。

先に議論された DTI 報告書によれば"DOD-N プログラムはマイクロシステムテクノロジー局(MTO)が調整し、エレクトロニクス、フォトニクスおよび微細電気機械システム(MEMS)の異種混成マイクロチップスケール統合に集中する。

このプログラムは、4年間で4000-6000万ドルの予算により、非常に拡張性の高いチップ統合光データ系(ODP)で構成された光データルーター(ODR)を含む、DOD-Nネットワークの実現にとって不可欠となる物理層技術(ハードウェア)を実証することに焦点をあてている。究極的には、単一のモノリシックチップあるいは多重モノリシックチップで、従来のエレクトロニクスを使用した制御系と接続する。

このプログラムの主要目標は、高い生産性、多重入出力ポート、高い信号保全性、高い信号対雑音比および高い拡張性を持って、異なるノード形式用にそのような ODR を実証することである。"

さらに、米国では、海軍研究局も超高速オプトエレクトロニクスについての研究に資金提供している。研究報告 "デジタル超電導エレクトロニクスのための超高速オプトエレクトロニクス・インターフェース"は、下記でダウンロードが可能である：
www.lle.rochester.edu/pub/review/v88/88_04_Ultrafast.pdf

技術開発

上で言及したように、多くの技術が超高速オプトエレクトロニクスシステム開発の成功の鍵である。この報告書の範囲の調査では、米国と欧州の最近のフェムト秒技術の数多くの重要な開発を明らかにしていない。しかしながら、最近の特別に重要な1つの開発が浮上している：

超高速レーザー

超高速オプトエレクトロニクスシステムの主要部品はレーザー源である。研究者は、いくつかの応用のためにフェムト秒レーザーを開発しており、そのうちの1つが通信である。(通信応用以外では、例えば材料加工と装置さらに医学応用のフェムト秒レーザーが開発されている。)

この分野で最も重要な最近の開発は、恐らく、セントアンドリュース大学の研究があり、
(www.st-andrews.ac.uk/physics/pandaweb/research/researchreview/ph_c/the_upc.htm)
そこでは研究者が主張する 1.36 Tbit/s のデータ転送率を達成する超高速レーザーが開発された。

エンジニア誌 4月22日号の記事では、セントアンドリュース大学の研究者トム・ブラウンは、「我々は、以前に持っていたものより4倍以上大きなパルス繰り返し率のフェムト秒レーザーを作らなければならなかった。それはあらゆる100フェムト秒以下のレーザーで最も高い繰り返し率であると我々は信じている」と語った。

このレーザーは、明らかに他のフェムト秒レーザーよりはるかに小さく、自動車の後ろに収まるするほど十分に小さい。セントアンドリュース大学チームは、エセックス大学の研究者への光学リンクによるレーザーテストを現在計画している。

ブラウンによれば、「チームはある IT 企業にこの商用システムの開発を任せている。我々ここではプロセッサ自体に取り組んではない。このシステムの基盤技術に取り組んでいる。我々はインテルと競争することはできない。しかし、我々は基礎的な技術を提供できる。」

ブッカム、ノーテル、シャープおよびアルカテル(上記参照)を含むパートナーにとっても、この開発は非常に重要であると判明するであろう。

研究報告

徹底的な学術的文献の探索は、超高速オプトエレクトロニクスに関する次の最近の研究およびレビュー論文を明らかにした。

「超高速光学およびオプトエレクトロニクス概説」

Steinmeyer G, *Journal of Optics A, Pure and Applied Optics* 5, January 2003.

(この論文は下記でダウンロード可能である：

www.iop.org/EJ/abstract/1464-4258/5/1/201)

要約：

オプトエレクトロニクスデバイスの速度は、通常、エレクトロニクスデバイス側に使用されている構成部品によって制限されている。例えば、短い電流パルスからの短い光パルスの直接発生は、電子パルス発生器の速度あるいはレーザーダイオードの応答時間によって制限されている。この電子帯域幅の制限は、間接的スキームに変更することにより克服できる。帯域幅が問題である場合には、常にこのスキームは光学的方法を利用する。

これは、非常に遅いオプトエレクトロニクス技術と結合され、全光学アプローチの固有速度および標準オプトエレクトロニクスの長所をまとめる。短パルス発生とは別に、我々はさらにその検知および評価、その変調および送信の効力に取り組む。これらの方法は、数ピコ秒の時間分解能からフェムト秒領域へのオプトエレクトロニクスの機能性をもたらす。

「超高速通信および信号処理用フェムト秒全光デバイス」

Wada O, *New Journal of Physics* 6, Nov 26 2004.

要約：

通信システムの処理能力の経験則から一般に予測されるように、光通信と信号処理システムの将来の帯域幅要求は、まもなく 100Gb/s を超過する。しかしながら、既存

のオプトエレクトロニクスや電子デバイスおよび集積回路は、従来の半導体材料やデバイスに固有の最高速度からくる制限のために、100Gb/s を超過するビット・レートで機能することはできない。従ってそのようなシステムは超高速全光デバイスの導入なしでは実現出来ない。超高速通信および信号処理システムの実現のために、既存の材料およびデバイス則の特性によって制限を受けない、完全に新しい法則に基づいた全光デバイスが開発されなければならない。この論文は、量子閉じ込めナノ構造のような斬新な材料による斬新なデバイス法則あるいは超高速現象に基づいた、超高速光源および全光スイッチによる超高速全光デバイスの必要条件および最近の進展について概説している。ここで記述されている最近の開発は、モードロック・レーザーおよびマッハツェンダー干渉計構造、スピン緩和、サブバンド間遷移および有機薄膜および半導体量子ドットの超高速吸収復帰などを含む種々の現象に基づいたいろいろな全光スイッチを含んでいる。最近の開発のうちのいくつかは、500Gb/s から 1Tb/s ビット・レートの超高速パルス発生および信号処理のような基本的機能の性能を既に達成している。実システムでの応用を考慮して、将来の予期される技術的問題が議論されている。

「材料科学とナノテクノロジーのためのナノスケールフェムト秒分光学」

Loi et al, Synthetic Metals 139, 9 October 2003.

要約：

ナノスケールでの超高速分光学および3次元(3D)製作を行なう斬新な装置の設計と実装が報告されている。レーザースキャン共焦点顕微鏡および光子計数ストリークカメラシステムに組み合わされた、単一および多光子フェムト秒励起は、空間分解能100nmのオーダーでおよそ2ピコ秒の時間的分解能を持ったホトルミネセンス(PL)分光を実行することを可能にする。この装置は、ホトルミネセンスの高感度検知システムと時間分解能を持った3の高機能画像化能力を組み合わせる。画像化と分光は同じ空間位置上で実施されるので、分光特性と形状特徴の直接相関を可能にする。レーザースキャン共焦点顕微鏡の利用は、回析限界以下の空間分解能および高速データ収集と試料の低い光劣化のための高速レーザースキャンにより遠視野顕微鏡の優位性をもたらす。(ニアフィールド技術の場合のような試料摂動の可能性が妨げられる。)この光ナノプローブの可能な応用は、TFT、LEDおよびPVセルのような分子エレクトロニクスやオプトエレクトロニクス素子の活動的な分野における分光計測や画像化にある。動作中の素子の活動層形状は、電界分布、電荷の流れ、電荷再結合、光放射と関連づけることが出来る。有機、ハイブリッド、バイオ・ナノ構造およびナノデバイスに関する研究のための斬新な実験配置の可能性が示されている。

Dr. Carl Telford Senior Consultant,
Explorer, SRI Consulting Business Intelligence

以上