

平成21年度 新規委託研究  
「近接テラヘルツセンサシステムのための  
超短パルス光源の研究開発」  
研究計画書

## 1. 研究開発課題

『近接テラヘルツセンサシステムのための超短パルス光源の研究開発』

## 2. 研究開発の目的

テラヘルツ波は、適度な透過性と物質を同定できる性質を併せもつことから、X線や赤外線、電波など他の電磁周波数帯では困難であった様々な分子特有の吸収スペクトルを用いた物質分析が可能であり、工業、医療、バイオ、セキュリティ等の様々な分野での応用が期待されている。しかしながら、現状のテラヘルツ波を利用する計測・分析機器は大型かつ非常に高価なために産業界への導入が阻害されており、小型で安価なテラヘルツ発生用パルス光源の実現が望まれている。

本研究開発においては、オンサイトでの利用を想定した、小型で耐環境性に優れ、かつ汎用的な、テラヘルツ波による物質分光分析システムを実現するために不可欠な超短パルス光源を開発する。

## 3. 研究開発期間及び予算

研究開発期間：平成21年度から平成23年度までの3年間。

予算：平成21年度は140百万円(予定)程度を上限とする。

なお、平成21年度以降は対前年度比で6%削減した金額を上限として提案を行うこと。

## 4. 個別研究開発課題

### 課題 光ファイバー通信素子を活用した近赤外超短パルス光源の開発

オンサイト利用を想定した、小型で耐環境性に優れ、かつ汎用的な、テラヘルツ波による物質分光分析システムを実現するために不可欠なテラヘルツ波発生のための超短パルス光源を開発する。光ファイバー通信素子として活用されている近赤外半導体レーザーを用い、外部から電気信号を入力することで、パルス幅及び繰り返し周波数が可変な超短パルス光源を実現する。また、これを用いた分光分析システムの実現を行う。

## 5. 研究開発課題選定の背景、研究開発の必要性及び他で実施されている類似研究との切り分け、標準化動向

### (1) 当該研究課題を取り巻く状況

テラヘルツ波技術は我が国政府の各種施策として重要視されており、積極的な研究開発の推進が奨励されている。総合科学技術会議による「革新的技術」（平成 20 年 5 月 19 日）において、「検知技術」の「非接触可視化・分析技術（テラヘルツ）」として取り上げられている他、IT 戦略本部による「重点計画 2008」（平成 20 年 8 月 20 日）、情報通信審議会答申の「UNS 研究開発戦略プログラム」（平成 20 年 6 月 27 日）、長期戦略指針である「イノベーション 25」（平成 19 年 6 月 1 日）、「第 3 期科学技術基本計画分野別推進戦略」（平成 18 年 3 月 28 日）等においても、重要な研究開発課題としてテラヘルツ波技術が位置づけられている。

一方、海外においてもテラヘルツ帯を利用した研究開発は活発な状況にある。例えば、米国においては DARPA 等が中心となり国防を主目的とした先端技術開発プロジェクト等が進んでいる。また、EU においても第 5 次および第 6 次フレームワーク計画において、テラヘルツ帯電磁波のバイオ、医療、通信等への応用に向けた研究開発が進んでいる。

本研究課題に関連するテラヘルツ波要素技術の近年の動向を以下に示す。

#### パルス光源

現在テラヘルツ発生光源として利用されているフェムト秒レーザーは価格が高い点がテラヘルツの産業応用拡大の妨げになっている。また、安定した光源を得るためのモードロックレーザーはキャビティ長により繰り返し周波数が決まるためその可変範囲が狭いことが問題となっている。テラヘルツの光源に求められる高出力、安定性、周波数可変を実現するために、パラメトリック発振など様々な研究開発が行われている。

#### テラヘルツ発生・検出

テラヘルツ波発生・検出デバイスとしては、非線形光学結晶や光伝導スイッチ素子が挙げられる。フェムト秒レーザーをベースとしたテラヘルツセンサシステムにおいては、 $\text{LiNbO}_3$  を基盤材料に用いた光伝導スイッチが多く適用されている。また、最近では高出力光源に対応可能な  $\text{LiNbO}_3$ 、p 型  $\text{InAs}$ 、DAST といった非線形有機結晶の適用に関する研究開発も進められている。

#### 分光分析技術

テラヘルツ帯の分光技術としては、テラヘルツ時間領域分光技術が近年注目され、多くのテラヘルツ分光分析システムに適用されている。これは、フェムト秒レーザーを用いたコヒーレント光源の使用により実用レベルとなった技術であり、高い検出効果と低雑音性を有している。また、フォトミキシングを利用した分光システムは、高精度な計測が可能である。これは波長の少し異なる光源を非線形結晶に導入するもので、一方に

波長可変レーザーを用いることで連続的なスペクトル計測が可能となる。

#### 分光スペクトルライブラリ

テラヘルツ波を利用した分光・分析システムの実用化・製品化においては、計測対象物質に対するスペクトルライブラリの整備も必要とされる。2008年9月に情報通信研究機構と理化学研究所により構築された世界初の統合テラヘルツデータベースの一般への供用が開始されている。本データベースには、実験系試薬のほかに糖やアミノ酸等の生体関連物質、農薬、無機結晶等のスペクトルデータ、鉱物系を中心とした無機顔料、植物由来の多い有機染料等の約500種類のデータが収録されており、今後も研究の進歩に伴ったデータの拡充や他の研究機関からのデータ提供を受け、2010年にはデータ数2000件の達成を目指している。

#### (2) 研究開発の必要性

テラヘルツセンサ技術は全世界が注目する技術であり、上述の通り各国においても戦略的な研究開発が行われている中、我が国の国際競争力確保のためにも喫緊の課題である。本技術の応用分野は広範囲な領域への適用が期待されるが、現状では装置が高価かつ大型であることが技術普及の障壁となっている。産業応用の推進に向けては、装置の更なる小型化、低価格化が必須と考えられ、光ファイバー光学系を利用した小型・高性能のテラヘルツセンサシステムに必要な超短パルス光源の開発はそのためのドライビングファクタとなり得る。

一方、未開拓領域であるテラヘルツ帯における要素技術の開発を民間単独で実施するにはリスクも伴う。情報通信研究機構は我が国のICT分野における唯一の公的機関であり、2006年4月より開始した「未開拓周波数プロジェクト」（5年間継続、NICT自主研究）にて繰り返し周波数が高くかつ外部可変である超短パルス光源の開発等の要素技術の検討や、テラヘルツ波の大気伝播研究等を実施している。さらに、委託研究として安全・安心に資する研究開発も実施し、国民ニーズの高い分野へのアプリケーション開発も行っている。今後、こうした研究成果や技術的知見を活用した応用研究、アプリケーション開発の推進が期待されており、テラヘルツセンシング分野において業界をリードする立場として、情報通信研究機構が中心となって本研究開発を推進するものである。

#### (3) 他の類似研究との切り分け

本研究開発では、光ファイバー光学系を利用したテラヘルツ波センサーによる非破壊非接触の物質分光分析システムを、オンサイトでの利用を想定した安価かつ小型で可搬型の装置として実現するための要素技術として、光ファイバー通信素子を活用した近赤外超短パルス光源の研究開発を実施する。

情報通信研究機構では、自主研究として、テラヘルツ波発生技術として超短パルスレーザーを用いたテラヘルツ帯時間領域分解分光技術等の開発を実施している。また、情報通信研究機構の委託研究課題として、平成 18 年度から、火災時の救援・救助等に利用するためのテラヘルツ帯遠隔イメージングおよび高速分光センシング技術の研究開発が行われている。これらは、CW 光源を用いた遠隔イメージの取得を目的としており、本研究課題で実施する小型でオンサイト利用可能な近接スペクトル計測に必要なパルス光源の研究開発とは異なるものである。

一方、情報通信研究機構ではテラヘルツデータベースの整備を実施しており、理化学研究所と共同で一般に供用を開始している。本研究課題の成果は、本データベースの利用アプリケーションとして今後期待される。

また、平成 15 年度から平成 20 年度にかけては、総務省の戦略的情報通信研究開発推進制度において光通信技術を活用したテラヘルツ技術、また、文部科学省による「未踏光学（テラヘルツ光学）」開発・創生プロジェクト（平成 15 年度～平成 19 年度）において、産業応用（主に医療）を目指し、分光計測システムの高精度化に向けた研究開発が実施されているが、いずれも本研究開発が想定する小型で可搬型のシステム開発は実現できていない。

#### (4) 標準化動向

2007 年末に IEEE 802.15 にて、THz IG (Interest Group) が組織され、テラヘルツ無線に関する標準化の議論が始まったが、テラヘルツ帯のアプリケーション開発が未だ進んでいないこともあり、テラヘルツ帯における各種物理量や測定法の標準化に関する標準化はまだ進んでいない状況にある。

## 6 . 研究開発の到達目標

### 全体目標

オンサイトにおける物質（固体及び液体の非検体を想定）の近接計測が可能な可搬型のテラヘルツ帯物質分析システムのためのフェムト秒パルス光源に関する要素技術開発を行うと共に、これを用いた分光分析システム概念検討を行う。

以下に個別研究課題の到達目標の目安を示す。

### 個別研究課題目標

#### 課題 光ファイバー通信素子を活用した近赤外超短パルス光源の開発

オンサイト利用を想定したテラヘルツ波発生のための超短パルス光源を開発し、これを用いた分光分析システム概念検討を行う。

具体的な目標は以下の通りである。

- 光源として利用するレーザーは光ファイバー通信に用いられている近赤外半導体レーザーを用いること。
- 5GHz 程度までの変調用電気信号により出力する繰り返し周波数が可変であること。
- 開発するパルス光源としてモードロックレーザーを利用しないこと。
- 200 フェムト秒以下のパルスを出力すること。
- 本パルス光源はプローブを用いたハンディタイプのテラヘルツパルス発生器、受信器の光源として利用可能なこと。なお入力するレーザーは光ファイバーによるものとする。
- 以上の装置は常温で安定動作し、コンパクトな筐体（19 インチラックの一段程度）に収まること。また装置の重量は 10kg 以下とすること。
- 概念検討を行う分光分析システムにおいては、以下の性能を想定すること。
  - ◇ 開発したフェムト秒パルス光源と、プローブ型テラヘルツ発生器、受信器を光ファイバーで接続した、テラヘルツ分光分析システムである。
  - ◇ 開発した光源を用い、機械可動部分の無い時間領域計測が可能である。
  - ◇ 計測周波数帯域として、0.1THz ~ 1.5THz 程度までを計測可能とする。
  - ◇ テラヘルツ受信器で受信した信号を処理し、情報通信研究機構及び理化学研究所が共同で提供するテラヘルツスペクトルデータベース(添付資料参照)を利用して物質の同定を可能とする機能を有する。

#### 留意点

- 当該到達目標は最低限の目標であり、提案に際しては、当該到達目標を超える目標の設定が望ましい。提案書には設定した目標値を記述するとともに、本開発のコアとなるとと思われるキーテクノロジー及び計測対象の具体例について言及すること。
- 本研究では超短パルス光源の開発を行うが、これを用いてテラヘルツ発生、検出を含む提案も可とする。
- 本研究による超短パルス光源の開発およびこれを用いたテラヘルツ分光分析システムの概念検討の成果は、NICT 研究部門との連携のもと、その後のシステムの開発・実証に活用可能な水準となるよう考慮すること。

## 7. 期待される波及効果

### (1) 類似研究開発に期待する波及効果

本研究開発に応じて、セキュリティ、災害救助、食品検査、バイオ・医療分野における検査等、様々な計測用途に応じたテラヘルツセンサシステムの応用開発が期待される。また、本研究開発を基に、安価で小型な分光・分析システムが開発されることにより、

各種材料・化学物質の分析が進み、様々な物質のテラヘルツスペクトルのデータベース整備が進むことが期待される。従来の近赤外や中赤外の産業応用においても分光技術が基本かつ重要な要素であったと認識されており、データベース整備の充実により、テラヘルツ波技術の産業応用の進展に寄与することも期待できる。

(2) 実用化に期待する波及効果

本研究開発を基に、小型で安価なリアルタイム分析装置が今後開発されることで、例えば食品取扱施設での食品混入物検査、空港等でのセキュリティチェック、製造工程における医薬品や半導体の製造工程の検査等における実用化が期待される。

(3) 標準化活動に期待する波及効果

本研究開発により、今後小型かつ安価なテラヘルツ分光システムが実現し、様々な分野での利用が進むことで、有効性の実証とともにアプリケーションの開発も進み、テラヘルツ帯における各種標準化が進むことが期待される。特に理化学研究所と情報通信研究機構では統合テラヘルツデータベースの供用を世界に先駆けて行っており、本研究をもとに開発されるテラヘルツ分光システムによりデータベース化のプロトコルの確立と、データ蓄積の拡充により日本のテラヘルツ技術の国際展開が期待される。

8. 研究開発スケジュール

本委託研究の研究開発期間は、平成 21 年度から平成 23 年度までの 3 年間であり、スケジュールは概ね以下のとおりとする。

	21 年度	22 年度	23 年度
フェーズ	要素技術の開発・検証		高機能化
課題 光ファイバー通信素子を活用した近赤外超短パルス光源の開発	フェムト秒パルス生成の要素技術開発	フェムト秒パルス生成	近接テラヘルツセンサシステムのためのパルス光源高機能化
	近接テラヘルツセンサシステム概念検討		
最終評価			

9. 研究開発の運営管理及び評価に関する事項

情報通信研究機構は、総務省と密接な関係のもと、プログラムコーディネータの助言を受けつつ、本委託研究の適切な運営管理を実施する。外部有識者（評価委員）、プロ

グラムコーディネータの意見を運営管理に適宜反映させるほか、必要に応じて、半年から1年に1回程度本委託研究の進捗状況について報告を受ける等を行う。

最終評価を平成23年度に行う。なお、評価の時期については、本委託研究に係る技術動向、政策動向や本委託研究の進捗状況等に応じて、追加の実施、前倒しする等、適宜見直すものとする。

## 10. 特記事項

受託者は、本委託研究から得られる研究開発成果の産業面での着実な活用を図るため、本委託研究の終了後に実施すべき取組みのあり方や研究開発成果の産業面での活用方策について立案するとともに、立案した取組みのあり方や産業面での活用方策について、研究開発の進捗状況等を考慮して、本委託研究期間中に必要な見直しを行うこととする。



## 添付資料

## 【統合テラヘルツデータベース】

情報通信研究機構と理化学研究所との連携により、これまで両機関が個別に整備してきたテラヘルツスペクトルのデータベースを統合し、実験試薬や絵画材料等を盛り込んだ約500種類のスペクトルデータの一般供用を2008年9月にwebにて開始したものである。

物質にはそれぞれテラヘルツ光に対する固有の吸収スペクトル（指紋スペクトル）があり、そのスペクトルから物質の判別が可能である。両機関はこれまでそれぞれの研究目的に応じてテラヘルツ光に対する吸収スペクトルデータを取得してきており、個別にデータベースを構築、オンラインで公開してきたが、テラヘルツ分光およびテラヘルツ技術が産業や多様な学術研究分野における一般的なツールとして利用されるには大規模なスペクトルデータベースの確立が不可欠であるという認識から、これらを統合した本データベースが整備されるに至った。

情報通信研究機構が整備し、独自のデータベースでも公開してきた200種類以上の絵画材料の定性的なスペクトルデータ、および理化学研究所が整備し、同じく独自のデータベースで公開してきた約200種類の実験試薬の定量的なスペクトルデータに加え、東北大学のテラヘルツ生物学寄附講座も本データベースの整備に貢献している。

また、本統合型データベースでは、現参加機関に限定せず、世界各国の研究機関が保有するスペクトルデータを提供できる「プラットフォーム」的な機能を有しており、データ登録や更新をweb上で行えるようになっている。世界に類を見ないこのような大規模な参加型データベースの整備により、今後のデータベース拡充を促進し、世界中の様々な産業や研究分野でテラヘルツ技術の利用が進むことが期待される。

なお、本データベースでは、物質名、分光システム、モードやデータ取得機関等のキーワードにより、分野横断的にデータ検索が可能となっている。

現在収録している約500種類のデータの種類としては、実験系試薬の他に、糖やアミノ酸などの生体関連物質、農薬、無機結晶などのスペクトルデータのほか、鉱物系を中心とした無機顔料、植物由来の多い有機染料等が存在する。今後も研究の進歩に伴ったデータの拡充や他の研究機関からのデータ提供を受けながら、2010年にはデータ数2000件を達成することを目指している。

「統合テラヘルツデータベース」URL：<http://www.thzdb.org>