

## 3 活動状況

### 3.1 第一研究部門 新世代ネットワーク研究センター

研究センター長 久保田文人

#### 研究センター概要

新世代ネットワーク研究センターでは、持続的発展を続ける社会の形成において安心・安全、ユニバーサルコミュニケーションの基盤を提供することをねらいとして、新世代ネットワーク技術の研究開発を実施する。新世代ネットワークは、現在のネットワークが抱える様々な課題を根本から見直し、ネットワークの高品質化・高性能化への寄与を図り、新たな情報通信の価値の創造を目指す技術目標である。新世代ネットワークの展開を2015年以降と設定し、第2期中期計画において、その基盤技術を確立すべく以下の4分野の研究開発を実施する。

#### (1) 新世代ネットワークアーキテクチャ

革新的ネットワーク技術を統合し、有無線融合かつあらゆるサービスに共通の基盤となる新世代ネットワークの基本設計を明らかにする。

#### (2) 光ネットワークシステム

光領域の周波数利用効率を向上し、高信頼な超高速光ネットワークを低消費電力で構築するシステム技術を開拓する。

#### (3) 光波・量子・ミリ波のハードウェア

光ネットワークのイノベーションを目指し、光波・量子の物理限界に迫るとともに、未開拓の電磁波領域を開く、新世代及びそれ以降の未来のためのハードウェア技術を開拓・創出する。

#### (4) 光・時空標準及び日本標準時サービス

最高精度の時刻・周波数標準技術に裏打ちされた日本標準時を維持、多様なメディアで国民に供給する。さらにネットワークの高精度化に貢献する。

#### 主な記事

#### (1) 新世代ネットワークアーキテクチャ研究の加速

青山友紀プログラムディレクター(PD)の指導を得て、ネットワークアーキテクチャグループを中心とするAKARIアーキテクチャ研究の促進、研究戦略の策定、オーバーレイネットワーク研究の着手、次期テストベッド計画案への寄与、米・欧の戦略プロジェクトとの連携交渉の着手とオールジャパン研究体制設立の下準備を実施した。

#### (2) 光ネットワークシステム研究の推進

神谷武志PDの指導を得て、フォトリックネットワークグループ及び光波量子・ミリ波ICTグループにおいて、光パケット交換ノード、超高速光通信システムとそのデバイスに関して世界最先端の研究を実施し、欧・米の主要国際会議に多数の成果発信をする一方、委託研究チーム(産学)との連携を図る「フォトリックネットワーク連携推進会議」を設立した。また、光ネットワーク基盤技術シンポジウムを開催し、総務省施策と連結した研究開発の推進を内外にアピールした。

#### (3) 光波技術・量子技術・テラヘルツ技術・ミリ波技術研究の推進

神谷武志PDの指導を得て、光波量子・ミリ波ICTGにおいて、光波デバイス、オールバンド光通信、量子通信、テラヘルツ帯電磁波制御、ミリ波帯通信デバイスのそれぞれ基盤技術の研究を推進。量子通信に関しては、オールジャパンの産学官連携研究体制を推進する「量子ICT運営会議」を設立した。

#### (4) 次世代標準研究と日本標準時サービスの展開

光・時空標準グループにおいて、次世代光標準で世界のトップに並ぶべくSr光格子型光周波数標準器の研究に着手した。一方、前年度末から運用を開始した日本標準時新システムの精度( $\pm 10\text{ns}$ )・安定運用は世界から高い評価を得た。また、日本標準時に直結したNTPサーバーを公開し、インターネットでの標準時提供を開始した。

### 3.1.1 新世代ネットワーク研究センター ネットワークアーキテクチャグループ

グループリーダー 平原正樹 ほか7名

#### 次世代ネットワーク基盤技術に関する研究開発

##### 概要

ネットワークがすみずみまで行きわたる社会を目指し、ペタビット級のバックボーン及び10Gbps級のアクセスネットワークを高信頼・高品質で提供しつつ効率的に運用する次世代ネットワークの実現のために、(1)グローバルパスネットワークアーキテクチャ技術、(2)大規模ネットワーク制御・管理技術、(3)アクセス系ネットワークアーキテクチャ技術の研究開発を行い、(4)新世代ネットワークアーキテクチャをデザインする。

##### 平成18年度の成果

- (1) 光パスの波長利用を効率的にしつつ分散計算の高速化を図る計算資源配置方式を開発した。パス上のリンク負荷や距離が異なっても公平にユーザに光ネットワーク資源配分をする分散制御アーキテクチャの基本設計を行った。また、光パスとして利用可能な波長を推定する方式を光オーバーレイモデルや複数ドメインネットワークに対しても適応可能とした。さらに、JGN2光テストベッドを使用してダークファイバ上で波長パスを自由に設定する光グリッド基盤の初期版を実装した。これを米国Internet2やDRAGONプロジェクト等と協力して光パス上のe-VLBIをデモ展示することで実証評価した(図1)。
- (2) ITU-T SG13、SG15においてパス要求条件の明確化を行うことで光パスのモデル化を行った。マルチレイヤで光パスを制御するため新たにL2SCレイヤの実装を行った。また、L2SW及びOXC制御機能の実装を行い、多様な物理層との連携を実現した。さらに、けいはんなオープンラボにおけるネットワーク分野の産学官連携活動を推進し、光伝送網におけるイーサネットLAN収容技術の相互接続試験を行った。その結果を元にITU-Tへ提案し、提案方式のサプリメント文書化に成功した。また、キャリア内ドメイン間プロトコルであるDDRPの実装と、BGP-TEとDDRPの情報交換機能を開発し、相互接続試験を実施した(図2)。
- (3) 国内9社、海外7機関等にインタビューを実施し、将来のアクセス系ネットワークの要求条件・特徴を抽出した。従来のインフラストラクチャ型無線網に比べて耐障害性、高速通信性、位置適応通信性等に優れた分散型無線メッシュ網とその適応経路制御技術の研究に着手し基礎実験システムを構築した。また、アクセス網の多様性・複雑性を受容するオーバーレイ通信技術の研究に着手し、国際シンポジウム開催による研究推進と大規模実験環境構築を行った。さらに、新しいパーソナルサービス実現のためのアドレス/名前アーキテクチャの研究に着手し、網と通信端末の多様性を満たす新方式の提案とその概念設計を行った(図3)。
- (4) 新世代ネットワークアーキテクチャ設計プロジェクトAKARIを立ち上げ、国際会議やシンポジウムにおいて新世代ネットワークの研究開発の必要性を訴えるとともに、その社会的要求や設計原理、さらに新世代ネットワークアーキテクチャを構成する基本要素からなる概念設計報告書を作成した(図4)。

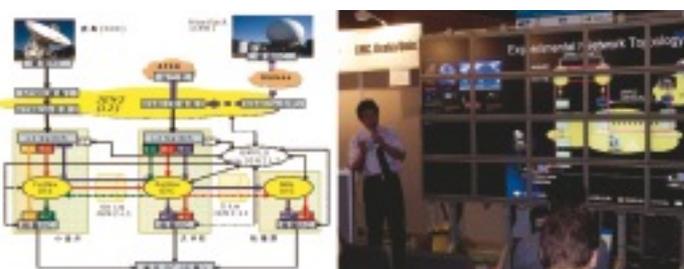


図1 光パス上のe-VLBI実証評価国際デモとその構成



図3 オーバーレイネットワークシンポジウム

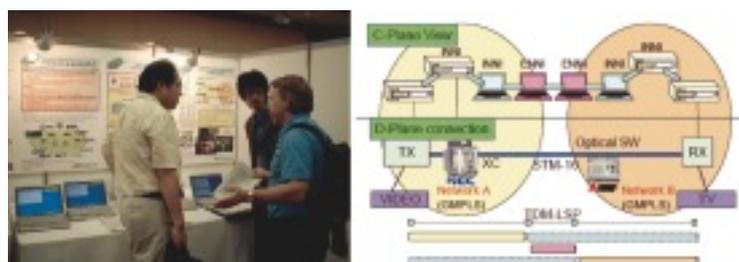


図2 GMPLSキャリア間相互接続試験デモと構成例



図4 AKARI概念設計書

### 3.1.2 新世代ネットワーク研究センター 超高速フォトニックネットワークグループ

グループリーダー 宮崎哲弥 ほか11名

#### フォトニックネットワークシステム技術の研究開発

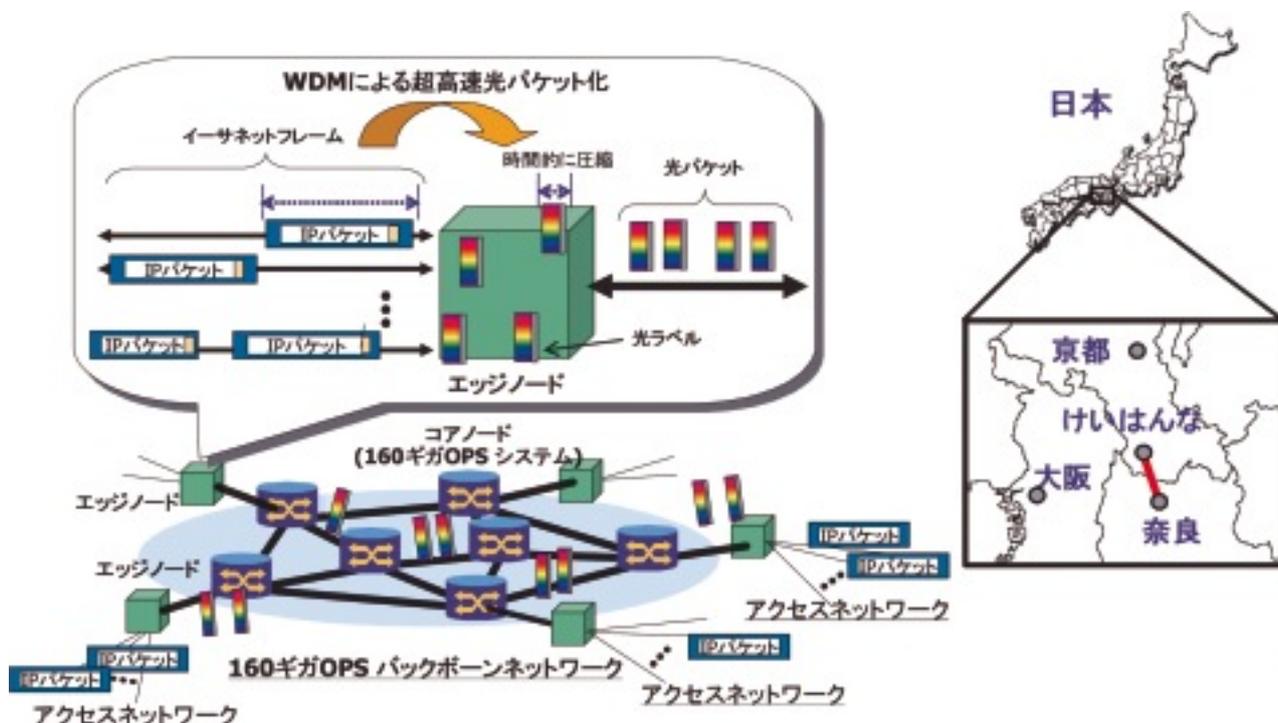
##### 概要

光の属性を極限まで効率的に利用する最先端のフォトニックネットワークシステムを実現するため、低消費電力光ネットワークノード技術、極限高効率光通信システム・光信号処理技術に関する研究開発を行う。

- (1) 1ラベル当たり数十ピコ秒の光処理技術と、パケット交換時のエネルギー効率が飛躍的に向上する、最先端の光処理超高速・低消費電力光パケット交換ノード構成技術を確立する。
- (2) 対位相雑音特性に優れたNICTオリジナルの位相同期検波方式及び光サブシステム構成などにより、帯域当たり極限の情報伝送効率及び極限高効率光信号処理技術を実現する。

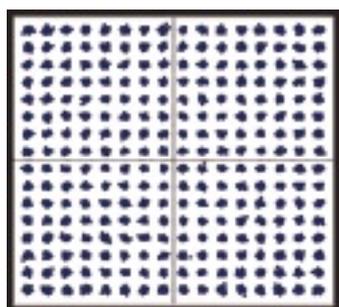
##### 平成18年度の成果

- (1) 大規模光パケット交換ノードシステム技術の研究開発
  - ① 高集積化が可能な新しい多重光ラベル処理方式を提案、デバイスを試作し、単一デバイスによる光ラベル処理としては、世界記録となる80種類の光ラベルの一括生成/処理に成功した。超高速かつ低消費電力の新型PLZT光スイッチの大規模化に着手。試作スイッチデバイスをファイバ遅延線型光バッファシステムに実装し、ファイバ遅延線型バッファとしては過去最大の31パケットのバッファリングシステムを開発。
  - ② 高速IP網の実規格である10ギガイーサの信号と、超高速(80ギガ)光パケット信号を相互接続可能なIP/光パケット変換器を世界で初めて開発した。また同じく世界初となる瞬時信号送受信機能を有した(80ギガ)マルチチャネル光パケットトランシーバーの開発にも成功した。これらを多重光ラベル処理装置を実装した新型光OPSプロトタイプと組み合わせ、ECOC2006でのIP over OPSの動態デモンストレーション、さらにJGN2テストベッド(けいはんな)での実証実験に成功した。

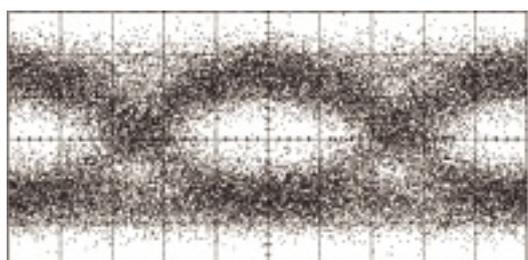


## (2) 極限高効率光通信システム技術の研究開発

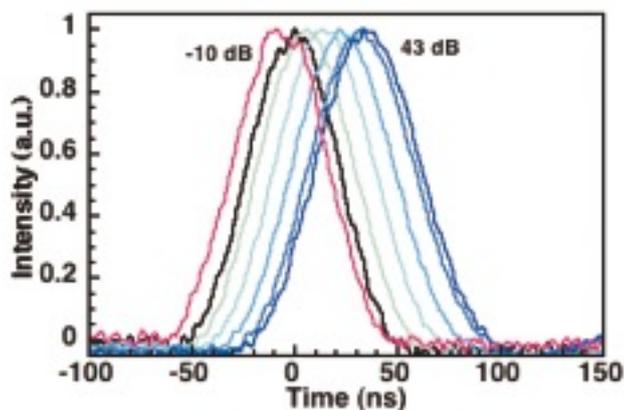
- ① 位相雑音許容度の高い多値同期検波方式において、10GSymbol、256QAM(80Gb/s)においても位相雑音ペナルティの無いことをシミュレーションにより明らかにした。更に究極の位相雑音限界における位相多値同期検波を実証するため、インコヒーレントな自然放出雑音光源(ASE光源)を用いても符号誤り率 $10^{-6}$ 以下の信号品質が達成できることを世界で初めて実証した。
- ② 非石英系カルコゲナイド(chalcogenide)光ファイバ中のブリルアン(Brillouin)散乱を利用したスロー/ファスト・ライト(Slow/Fast light)を石英系光ファイバに比べ200倍の高い効率で世界で初めて生成に成功した。



10GSymbol、256QAM  
(80Gb/s)コンスタレーション



自然放出雑音光源による20Gb/s-QPSK  
ホモダイン200km伝送後受信波形



スロー・ファスト光発生特性

### 3.1.3 新世代ネットワーク研究センター 光波量子・ミリ波ICTグループ

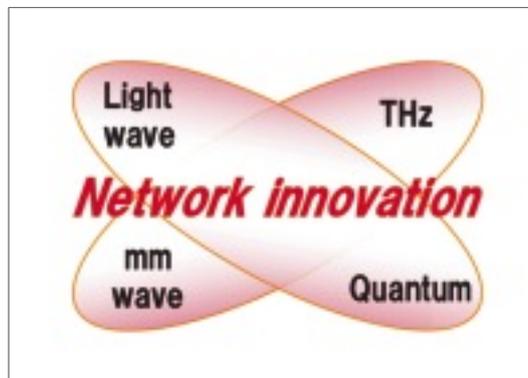
グループリーダー 土屋昌弘 ほか40名

#### 基盤的ネットワークハードウェア技術の研究開発

##### 概要

情報通信ネットワークを支えるメディア(媒質)である光と無線に関して、イノベティブな基盤技術が創出され、ネットワークの革新に資するハードウェア技術として具現化されることを目標とする研究開発を進めている(右図参照)。以下の二つの主題を掲げ、関連の課題に当たるとともにその境界領域の先駆的開拓も併せて実施している。

- (1) 光波や量子という光の極限特性の活用手法を創成し、将来の光情報通信インフラの要素技術を開発する。
- (2) 未開拓無線周波数帯であるテラヘルツ帯・ミリ波帯を開拓し、未来の無線ICTに向けた周波数資源の拡大拡充のためのハードウェア技術を開発する。



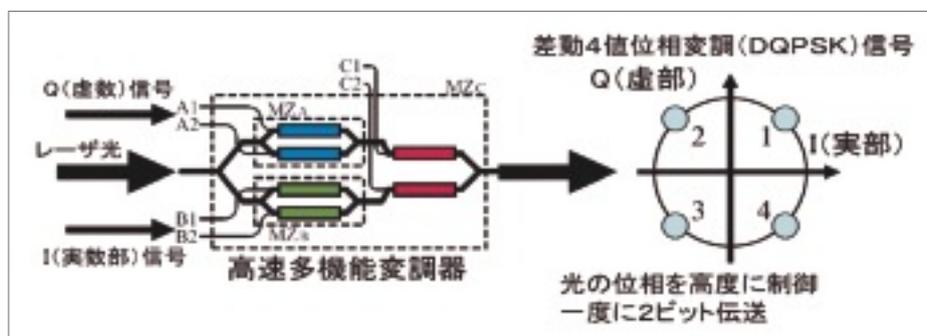
研究課題を具体的に列挙すると次のとおりである。①光波を超高速に変調するためデバイス技術とそれを利用する変調方式の開発。②超広帯域光源や光ネットワーク半導体デバイスなどの要素技術とその応用技術の開発。③光周波数資源を拡張しネットワークに適用する技術の研究開発。④情報通信技術大容量化のための新原理となる量子信号処理技術の研究開発。⑤量子ネットワークを構築するための基盤技術の研究開発。⑥半導体テラヘルツ技術の高度化とその高度計測システム適用技術の研究開発。⑦テラヘルツ帯技術の基礎となる高精度光源の開発。⑧テラヘルツ帯大気伝搬特性の解明・モデル化と各種材料テラヘルツ帯特性データベースの構築。⑨大容量無線アクセス技術のためのミリ波帯デバイス技術とモジュール化技術の研究開発。

##### 平成18年度の成果

###### (1) 光波技術の研究開発

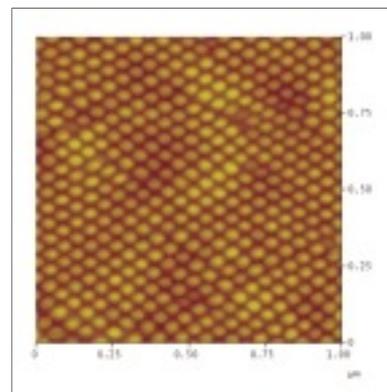
光ネットワークの基盤と位置付けられる光波デバイスとその活用技術及び光オールバンドシステムに関する研究開発を実施した。

情報操作量250Gb/s級光変調デバイス技術と変調方式の開発において、超大容量光通信実現を目指す光多



値位相変調技術の開発と100Gbps超級変調技術の伝送システムへの応用可能性の検討を行った。光集積回路技術の適用と駆動システムの改良により100Gb/s差動4値位相変調デバイスの開発に成功し(上図参照)、100GbEに対応する高速伝送を実証した。また、米国ベル研究所との共同で世界最大容量高速伝送(25Tb/s)、世界最高周波数利用率伝送(3.2bit/Hz)、100GbE対応信号の最長距離伝送(4,000km)を実現した。また、未来光波技術シンポジウムを主催し、今後の技術展開に関する議論の場を提供し、当該技術の先導に貢献した。

光ファイバ通信波長帯200nm機能光半導体デバイスの開発においては、低コスト大容量アクセス系の実現とネットワークリソースとしての未使用波長帯の開拓を目指す量子ドット発光材料の開発を行った。量子ドット(右図)はナノメートルオーダの半導体構造で、その適用によりアクセス系光半導体デバイスの性能改善が期待されている。発光スペクト

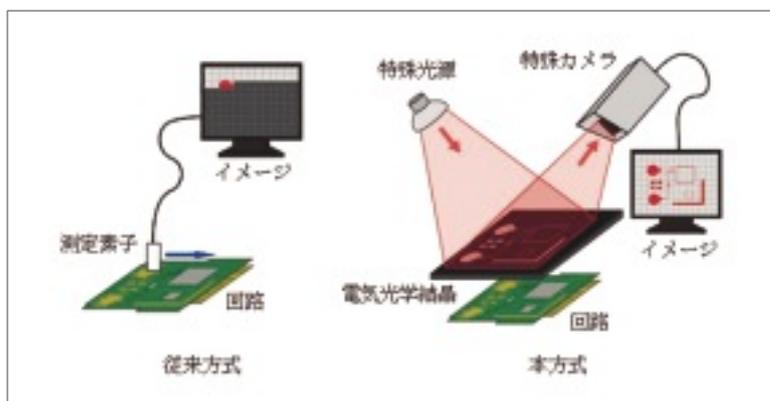


ル広帯域化によるネットワーク機能向上を目的として、GaAs基板上の量子ドット(InGaSbを材料とする)とInP基板上の量子ドット(InAsを材料とする)の特性改善を図ったところ、前者では表面状態の改質による高密度化が達成され1,300nmを中心に1,050~1,450nmと400nmにわたる広帯域発光が確認された。後者に対しては、半導体内の歪を補償する法の適用により高品質化及び異サイズ量子ドット積層化が可能となり、1,450~1,691nmと240nmにわたる広帯域発光が確認された。これらの結果は、光ファイバ通信のために規定されているOバンドからLバンドまでのすべてがカバーされる総計640nm光波帯域に対し、少数モジュールによる光増幅が実現され得る可能性を示唆するものである。

帯域100THz級の超広帯域光源技術の研究開発においては、光通信及び赤外域応用のための光周波数基準への応用に向け、光学的高非線形媒質を用いる光波帯域15THz級超広帯域光源を実現する技術の開発を行った。光学的非線形の高い光ファイバの試作を進めるとともに、高非線形光ファイバの波長分散の最適化を行い、更には広帯域光源の種光源として高安定短パルス光源を用いるシステムを構築したところ、15THz級広帯域光周波数コム生成の実証した。周波数コムとは一定間隔を有する線状周波数スペクトルの集合体で、広帯域信号を表す。

NICT内の戦略的研究開発スキームにより実施されたオールバンドフォトニックトランスポートシステム基盤研究では、フォトニックトランスポートシステムに用いられる光波資源を現在の数倍以上に拡大するための基盤技術の研究開発を行った。その端緒として、1,000nm帯における中継増幅伝送路を取り上げた。特殊設計光ファイバによる低分散伝送路の可能性を検討し、東北大学との共同研究を通じてフォトニックデバイスラボ試料に基づく1,000nm帯モード同期半導体レーザープロトタイプを試作した。その結果、1Gb/s・3kmエラーフリー伝送が実証され、1,000nm帯情報通信応用の可能性が示された。

高度な光波技術を応用する対象として光によるミリ波・マイクロ波信号を測定する技術に着目し、高速の電気信号を瞬時に直観することを可能にする装置の試作を実施した。電界の強弱に応じて光波状態(偏光)が変化する現象



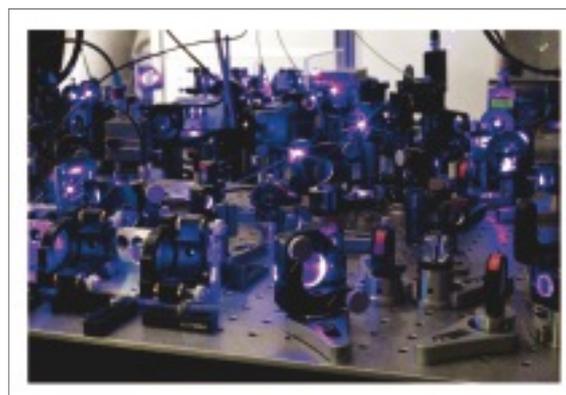
に対して光の並列性を活用し、それにより1万点の同時測定を可能とする技術の開発に成功した。左記技術の活用により、マイクロ波電磁界分布を瞬時に撮像する技術が世界で初めて実現された(上図参照)。従来は一点ずつ順次測定を続ける必要があり2次元分布を得るためには数十秒から数時間を要したが、それが1秒に大幅短縮された。マイクロ波アンテナ開発、回路不良診断、電波漏えい検査などへの応用が期待される。

## (2) 量子情報通信技術の研究開発

極限的安全性と大容量伝送を実現する量子情報通信ネットワークの実現に向けた研究開発を実施した。基盤技術の開発と新原理の開拓、特に、光波制御技術の枠内にとどまる現在の光通信技術と、少数光子の制御の範囲内にとどまる現在の量子情報通信の間に横たわる溝を埋め、革新的情報通信パラダイムを創成するために新たなスキーム「多数光子制御」の開拓に取り組んだ。

まず、基盤技術である光子検出については、ネットワーク化のための基盤として1,500nm通信波長帯技術を中心に研究開発を進めた。受光素子と回路の最適化と低雑音化による改善を図り、量子効率90%と動作速度40Hzの性能を実現した。860nm帯光子検出器では信号対雑音パワー比1.5の光子数検出器を開発した。種々シリコン受光素子構造の増倍特性の詳細分析を行い、更なる高性能化に向けた改善方針を検討した。

量子ネットワークノード技術の基盤構築のためには、光子と物質(イオン)のそれぞれの量子状態の相互制御を可能とする技術の創成が必要不可欠であるが、その実現



に向けた基礎研究を実施した。Inイオンによる量子メモリを実現するために、Caイオンとの共同冷却を試み、これに成功するとともに、相互作用制御のための微小光共振器の高性能化を図った。

多数光子制御を実現するための第1ステップとして、それに必要なスクィーズド光源の高度化を図った。スクィーズド光とは光子数揺らぎが抑圧された光の状態を表す。主要装置(光パラメトリック共振器)の狭帯域化・低損失化を進め、揺らぎを真空状態のそれと比較して7.2dB小さな値とすることに成功した。従来の世界記録6.0dBを14年ぶりに更新するものである。さらにこの光源技術を高感度光子検出器と組み合わせることで、量子物理学70年来の夢であった「シュレーディンガー猫状態」の実現に成功した(前頁下図はその装置の写真)。その純度は世界最高を達成している。

量子情報理論については、任意の2値量子測定が線形光学素子、光子検出器、フィードバック制御により実現されるという基本原理が導かれ、その証明を行った結果が物理専門誌の中で最も権威のあるPhysical Review Letterに掲載された。

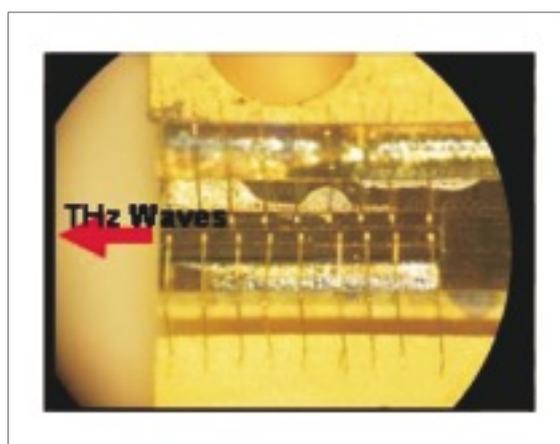
半導体素子による量子制御は量子技術実用の上で極めて重要であり、長期的課題として取り組む必要がある。その実現に向けて、半導体ナノ構造を用いる量子ICT技術の性能向上に取り組んだ。通信波長帯高品質量子ドットの作製に成功し、量子制御に必要なナノ秒オーダーの位相緩和時間を有することを世界で初めて確認し、半導体量子制御技術への端緒を開いた。

また、国内外の効果的な連携に向け、当該分野で最も権威のある量子通信国際会議を主催し国際コミュニティへ貢献するとともに、量子ICT運営会議を主催し国内研究の先導役を果たしている。

### (3) テラヘルツ帯電磁波制御技術の研究開発

未開拓周波数帯電磁波の一つであるテラヘルツ波について半導体基盤技術を中心に研究開発を実施した。

テラヘルツ帯量子カスケードレーザ(右図)については、熱圧縮法によるエピタキシャル結晶転写技術の研究開発を進めた結果、両面金属型低損失導波路による閾値電流密度の大幅低減( $\sim 0.45\text{kA/cm}^2$ )が実現された。また、GaSb系導波路構造を考案し、製造工程簡素化と性能向上に有利な高光閉じ込め率( $\sim 0.85$ )の双方を可能とする導波路設計技術を確立した。更に、非冷却(抵抗値変化型)カメラを用いる出射ビームパタンのイメージ計測に成功し、レーザ特性評価のみならずテラヘルツ波実時間動画計測技術に向けた端緒を開いた。検出技術について



は、量子井戸型半導体検出器の研究開発を行い、テラヘルツ波(3THz)検出に成功した。金属格子型表面結合構造の装備により世界初の面型受光素子としての動作確認である。

テラヘルツ帯高精度光源技術確立へ向けて、光周波数コムを用いる狭線幅THz波システムを構築し、基本動作としてのテラヘルツ波発生を確認した。また、超広帯域(15THz)テラヘルツ波分光装置を開発し、従来方法では空白領域とされていた5-10THz領域の高速データ取得が可能となった。種々材料に対するテラヘルツ帯スペクトルデータベースの構築を目途として、従来手法のフーリエ分光法と併せて新規開発超広帯域テラヘルツ波分光装置を利用する枠組みを構築した。続いて共同利用を開始し、データベース拡充を図る予定である。

また、テラヘルツ帯の高度利用を実現するために必要不可欠なテラヘルツ帯大気伝搬モデルを確立するために、高感度テラヘルツ時間分解分光法を開発したところ、テラヘルツ域における水蒸気吸収線幅圧力係数の精密測定に初めて成功した。

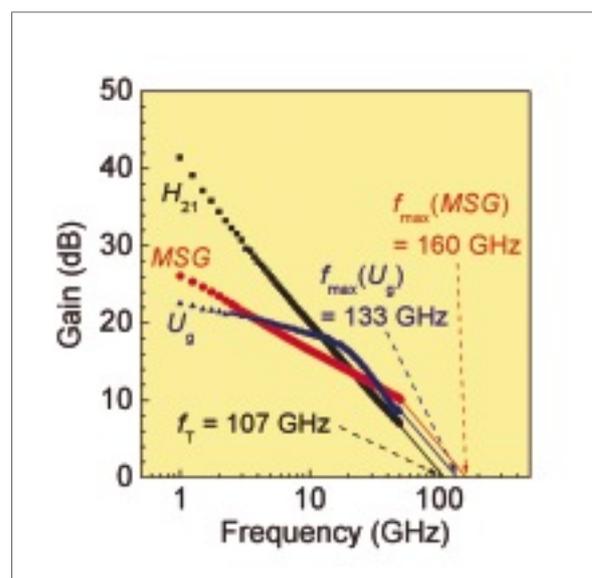
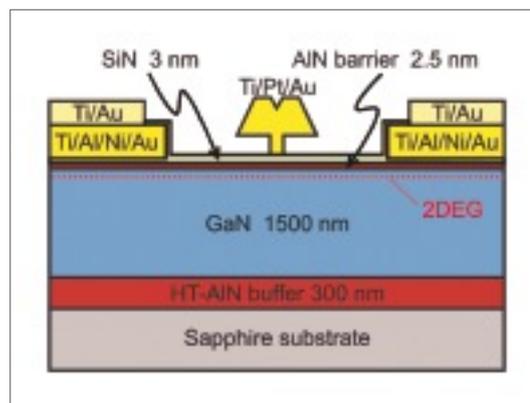
### (4) ミリ波デバイスの研究開発

ミリ波帯高出力デバイスとして注目される窒化物トランジスタについてその格段の高速化を図る研究開発を中心とする研究開発を実施した。

具体的には、GaNヘテロ構造電界効果トランジスタの超高周波化のために高Al組成障壁層を有する新しい構造を考案しその特性を解析した。ヘテロ構造とは異なる半導体が組み合わされた構造であり、その中の障壁層は電子を閉じ込めるための機能を有する。障壁層におけるAl組成を100%としたAlN/GaNヘテロ構造について電気的特性評価を行った結果、AlN表面における保護膜の有無に応じて特性が制御されることが判明

した。保護膜を用いない状態では表面空乏化により二次元性を有する電子が蓄積されないのに対し、触媒化学気相堆積法を用いて製膜したSiN表面保護膜を用いた場合には、極めて高い密度の二次元電子が界面に誘起される。また、その電子密度はSiN表面保護膜の厚さの制御により調整できることが判明した。

これらの特性を利用することにより、ミリ波集積回路を実現する上で有用な2種類のトランジスタを同一チップ上に構成することが可能となった。すなわち、電圧を加えて電子を除くDモードトランジスタ(右図)と逆に電子を電圧により誘起するEモードトランジスタの双方を同一基板に実現する技術が開発された。特に後者では、窒化物トランジスタとしては前例のない好特性が実現されている。これにより、ミリ波回路構成とそのモジュール化において自由度の拡張がもたらされ、今後のミリ波技術応用において従来にない性能が実現される基盤となるものと期待される。



### 3.1.4 新世代ネットワーク研究センター 光・時空標準グループ

グループリーダー 細川瑞彦 ほか29名

#### 情報通信の基盤として産業、学術、一般社会に貢献する周波数・時空標準の構築と供給

##### 概要

NICTがこれまで培ってきた時刻周波数標準と時空基準座標系を発展させ、さらに、最先端の光技術を積極的に取り入れることにより時刻・周波数・位置の標準を高精度に構築する。またこれらを使いやすく信頼できる様々な形で社会に供給する技術を確認する。具体的課題としては以下が挙げられる。

日本標準時として、世界トップレベルの時系を維持し、供給する。原子時計群と一次周波数標準器の運用で国際原子時に貢献する。最高のCs原子標準とその限界を超える光標準を構築し、その精度を評価できる時刻・周波数国際比較の技術を確認する。位置計測、基準座標系構築の研究を進める。構築した日本標準時と位置の標準をネットワーク時代に適応した供給方法で更に広く活用していただくための研究を進める。

また、次世代の標準技術につながる基礎研究を進めていくことと、新たなネットワークアーキテクチャに標準のネットワーク配信技術を融合させ、ネットワークの高品質化・高性能化への寄与を図り、新たな情報通信の価値の創造と時空標準の価値を自ら高めることにも努める。

##### 平成18年度の成果

###### (1) 日本標準時の運用と供給

新システムの定常運用を行い、Cs原子時計18台を運用し、周波数国家標準を高精度かつ安定に設定し、日本標準時を協定世界時におよそ10ns(ナノ秒)以内で高精度に維持した。協定世界時への貢献も原子時計の寄与率約6%(世界第二位)と、一次周波数標準器NICT-O1による $10^{-15}$ 台での確度評価を行った。時刻比較業務では、アジアのノード局として主導的に国内外時刻比較観測を実施しBIPMにデータ提供した。日欧間時刻比較では衛星双方向方式が平成19年3月に採用され、協定世界時と日本標準時の比較精度の向上につながった。長波帯標準電波による標準時供給は、長波局時系の高精度同期を保ち、送信は2局体制でほぼ100%(各送信所では97%以上)での運用を実施。ネットワークを通じた標準時供給では、テレホンJJY、専用線NTPサービスによるほぼ100%の安定した時刻提供を実施。また、一般ユーザーが直接利用できる公開NTPサービスを新規開始した。タイムビジネス(時刻認証事業者等)に対して信頼できる時刻情報として日本標準時を安定して提供した。周波数標準器校正サービスでは、委託校正、登録点検校正、jcss校正、遠隔校正で合計41件の周波数校正を実施。精度を向上させた新校正システムによる指定校正機関及びASNITEの再申請と遠隔周波数校正のjcssで認可を受けた。



世界トップレベルの精度で運用を続ける日本標準時新システム

###### (2) 次世代原子時計標準器の研究

Ca+イオン標準器では、トラップの小型化と光イオン化システム導入を行うことで遷移線幅の一桁狭窄化を達成し、遷移線のサイドバンドを観測した。中性Sr光格子時計については全体の概念設計及び真空部分の詳細設計を行い、真空装置、基準光源などを整備した。数百THz帯の可視域とGHz帯間の周波数リンクの研究では、広帯域フェムト秒パルスレーザーによる低雑音光コムを開発し、その計測精度は短期ではシステム自体より水素メーザの安定度に制限されるレベルに達した。超高安定冷却サファイア発振器については、約11GHzの発振信号を実際にMHzからGHzで原子泉や光計測で活用するための周波数合成チェーンの設計を完了し作成準備を進めた。



開発中のCa+イオン光標準器

###### (3) 精密時刻比較の研究

衛星双方向比較方式では、国内外(はがね山、韓国)での校正実験を実施し、局内遅延を1ns程度で決定した。長基線での日周問題の要因の検討を進めた。またGPS時刻比較方式では、搬送波位相比較ソフトの改良により長基線でも300秒で $10^{-13}$ の安定度を実現した。複帯域高精度比較では、二つの方式それぞれで

検討を進め、問題点と従来方式より1~2桁の精度向上の可能性を明らかにし、計画の統合を進めた。10<sup>-14</sup> 台の精度を目指した周波数国家標準とトレーサブルな赤外域光周波数絶対値計測技術の基礎システムの検討として、1.5 $\mu$ m光標準装置の整備を開始した。また、ETS-VIIIを用いた時刻比較実験の実施に向けて、実験計画を検討し、無線局免許の取得、地上局の回収改修を行った。また、打ち上げ後の高精度時刻比較(TCE)ミッションのチェックアウトで正常動作を確認した。



打ち上げられたETS-VIII衛星と正常動作が確認された搭載時刻比較装置(TCE)

#### (4) 時刻・位置情報認証技術の研究開発

時刻認証ではローカルリンク方式を併用した高速な電子時刻認証付メール中継サーバの試作・性能評価を行い、また、クライアント側時刻認証方式実証のためのシステムを設計・試作しメール中継サーバに組み込んで動作確認を行った。さらに、位置認証技術試験システムの基本部分を開発した。位置計測・認証技術では高精度・高信頼な時空統合標準を構築するための研究開発として、国際観測基線によるUT1推定の迅速化(従来の4.5時間を2時間に)を達成するため、スウェーデンオンサラ局との国際実験を行い、観測後1時間36分でUT1を推定できることを実証した。リアルタイムe-VLBI



測地VLBIに成功した小型(2.4m)アンテナ

システムについては、JGN2シンポジウム等での公開実験を実施した。また、距離基準構築の研究では、世界最小口径2.4mアンテナによる測地VLBI観測に成功し、距離計測システムの概念設計を完了した。時空情報配信技術として、小型時刻信号源の研究開発を目的に、低位相雑音VCOを試作し、動作確認、性能評価を行った。また、標準電波リピータのプロトタイプを開発し、性能を評価した。

#### (5) 非静止衛星を利用したKu帯移動体衛星通信システム技術

擬似衛星局など追加装置を試作しフィールドにおける対向試験等を実施し、またシミュレータの機能追加を行い、高仰角伝搬環境における通信品質や衛星のハンドオーバーに必要な条件を評価した。なお、有識者の調査検討会を4回開催し、技術試験とその検討結果を最終報告書として取りまとめている。

#### (6) 準天頂衛星の開発

時刻管理系の搭載機器についてはEM(工学モデル)の環境試験を行った。EMの開発成果を基にしてフライトモデルの設計を進め、CDR(詳細設計審査会)を行い開発に着手した。地上系についてはモデムの地上部を完成、またJAXAとのインターフェイス調整を取りつつシステムの基本設計を確定した。ハワイモニタ局に設置予定の衛星双方向時刻比較装置の試験を行った。水素メーザ原子時計は環境試験を実施し、搭載可能の目途をつけてこれまでの成果をまとめた。

#### (7) 広報活動など

日本標準時、位置計測関連を中心に、幅広い層への見学対応やインターネットや電話による問い合わせ、取材、記者報道に積極的に対応し、NTPクライアントコンテストを実施するなど広報・啓発活動を行った。