

令和 2 年度事後事業評価書

政策所管部局課室名：国際戦略局 技術政策課 研究推進室

評価年月：令和 2 年 9 月

1 政策（研究開発名称）

グローバルコミュニケーション計画の推進 ― 多言語音声翻訳技術の研究開発及び社会実証 ―¹

2 研究開発の概要等

（1）研究開発の概要

・実施期間

平成 27 年度～令和元年度（5 か年）

・実施主体

民間企業、国立研究開発法人

・総事業費

5,519 百万円

平成 27 年度	平成 28 年度	平成 29 年度	平成 30 年度	令和元年度	総 額
1,362 百万円	1,262 百万円	1,397 百万円	699 百万円	799 百万円	5,519 百万円

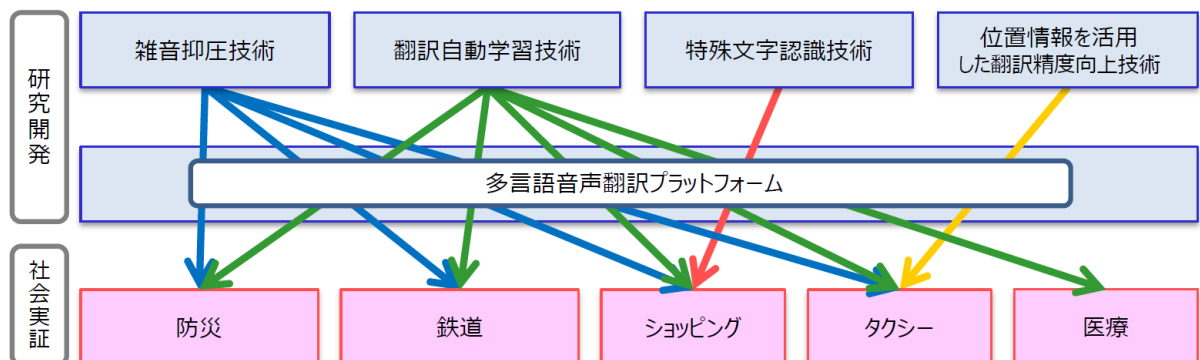
・概 要

本研究開発及び社会実証を開始した平成 27 年度から現在に至るまで、日本を訪れる外国人は増加の一途を辿ってきた。訪日外国人と日本人の間には「言葉の壁」が立ちはだかつており、コミュニケーション不足による様々な問題や機会の損失が多数存在している。

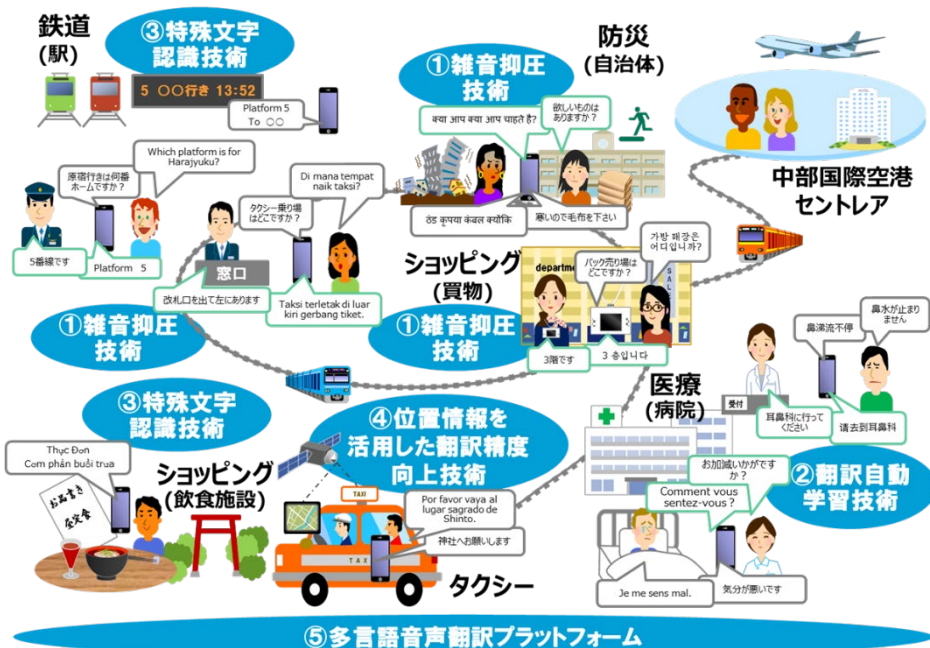
このような社会的背景のなか、都市のインフラとして多言語サポート整備の必要性が急速に高まっている。特に災害が発生した時や病気になった時などでも、日本語を話すことができない外国人の安心・安全を確保するためには意思疎通が不可欠であるが、多国籍の訪日外国人へ通訳・翻訳サービスを人手で提供するのには限界がある。

「多言語音声翻訳技術の研究開発」では、「言葉の壁」をなくし、自由でグローバルなコミュニケーションを実現するため、多言語音声翻訳技術を高度化し、かつ翻訳サービスを提供する企業等が共通して利用可能な多言語音声翻訳プラットフォームを構築し、実社会に実装することを目的とする。

本研究開発及び社会実証を通じて、多言語音声翻訳技術を用いた翻訳サービスが病院、ショッピングセンター、観光地、公共交通機関等の生活拠点に導入され、日本語を理解できない外国人でも日本国内で「言葉の壁」を感じることなく、我が国の生活で必要なサービスを利用できるようになるため、後述する各研究開発課題に取組む意義があるものと考ええる。

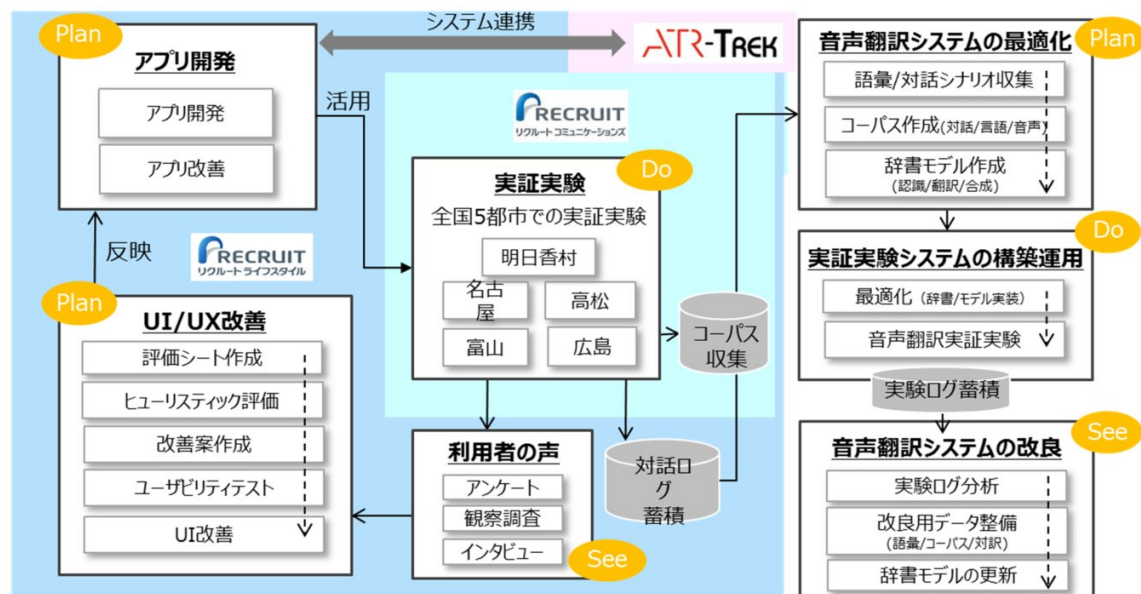


¹ 事前事業評価は、「多言語音声翻訳技術の研究開発及び社会実証」の名称により実施。令和元年度への継続の際、「災害時における多言語音声翻訳システムの高度化のための研究開発」の名称により実施。



また、「多言語翻訳アプリのUI/UX²の研究開発／社会実装および定着化のための研究開発」では、多言語音声翻訳システムを活用し、高齢者、障害者、非日本語話者を含む誰もが使いやすい多言語音声翻訳サービスを実現するための最適なUI/UXを開発する。

それにより、日本を訪れる外国人と接遇する全ての日本人との間で「言葉の壁」を感じることなく、自由に交流できるようにする。



多言語音声翻訳技術の研究開発

技術の種類	技術の概要
音声入力デバイスにおける雑音抑圧のための集音技術	本研究開発開始時の技術水準として、音声認識機能の活用にあたっては、音声入力において S/N 比³=20dB（一般的に音声認識機能にほぼ影響のない騒音レベル）を確保する必要があるところ、観光地、公共交通機関等、屋内外で見込まれる S/N 比=0 dB（音声入力と騒音が同等レベル）相当の環境では、音声認識機能を活用できなかった。 本研究開発では、観光地、公共交通機関等、騒音が存在する場面での音声認識システム

² User Interface / User Experience の略。ユーザーと製品・サービスの間において情報のやり取りを行う仕組み、及び得られる体験や経験。

³ 信号 (Signal) と雑音 (Noise) の比率。数値が大きいくほど雑音が少ないことを表す。

	の活用を想定し、S/N 比=0dB 相当の環境においても、音声入力に S/N 比=20dB 相当となるよう音声認識精度を改善する。
多様な環境における雑音抑圧最適化技術	本研究開発開始時の技術水準として、雑音抑圧技術を個々の利用環境に適応させるため、雑音抑圧処理の最適化（各機能の処理方式や動作パラメータセットの設定）を専門家が数名で取り組み、一つの機器に対して 150～300 人時以上の作業が必要であった。 本研究開発では、雑音抑圧処理の最適化に必要なコストを、複数の利用シーンに対して、それぞれ 75 人時以内で完了する雑音抑圧最適化技術を実現する。
翻訳自動学習技術（自動翻訳チューニング技術）	本研究開発開始時の技術水準として、N I C T では 4 言語（日本語、英語、中国語、韓国語）1 分野（観光）で、翻訳率 70% の翻訳システムを試用公開していたが、実際の社会において実用レベルで使うためには、言語数、対応分野、翻訳率ともに不十分であった。 本研究開発では、初期の翻訳率が 70% の場合で、10% 改善して 80% とすることを目指す。
特殊文字認識技術	本研究開発開始時の技術水準として、従来 OCR 技術は文字認識評価セットにおける認識率が約 58% であり、複雑な背景中の文字や、様々なフォントを含む飾り文字、照明や影の映り込みなどに対して文字検出・認識精度は低い状態であった。 本研究開発では、多様な場面で OCR 技術を活用することができるよう、認識率を 90% 以上とする。
位置情報を活用した翻訳精度向上技術	本研究開発開始時の技術水準として、観光やタクシー車内を想定したテストデータを使用した翻訳精度の主観評価では、訳出の 4 割程度において、重要な情報が漏れていた、文法的な間違いが発生しており、行き先の聞き取り、料金収受、観光情報提供など輸送サービスに必要な会話に課題があった。 本研究開発では、「位置情報を活用した翻訳精度向上技術」を組み合わせ、行き先の聞き取り、料金収受など輸送サービスに必須な会話について、言い直しを 2 回まで許容した上で、用務達成率 80% を目標とする。経路周辺の観光スポットの案内等付随的な会話については、上記と同等条件において、用務達成率 60% を目標とする。
多言語音声翻訳プラットフォームの開発	「多言語音声翻訳技術の研究開発」での研究成果を活用し、実際の社会で利用可能であり、かつ翻訳サービスを提供する企業が共通して利用可能な多言語音声翻訳プラットフォームを構築する。

多言語音声翻訳の利活用に関する開発・実証

技術の種類	技術の概要
多言語翻訳アプリの UI/UX の研究開発／社会実装および定着化のための研究開発	高ニーズ領域における利活用を視野に入れた、多言語音声翻訳アプリの UI/UX 改善のための調査実施、及びそれに伴うサービス実装を完了する。また、利用者アンケートにおける「アプリの利用を他人に勧めたい」との回答及び「アプリの利用満足度」8 割以上を達成する。
実証実験の運営／地域独自の対訳コーパスの作成	あらゆる人に使いやすい多言語音声翻訳アプリの実現に向けた最適な UI/UX の検証を目的とした実証実験を実施するため、運営方針の策定及び、課題抽出を含めた結果報告完了する。また、実証地域の要望を取りまとめながら、精度向上のための対訳コーパス 100 万文字程度を作成する。
実証実験システムの構築と運用／音声翻訳システムの最適化／実証実験結果にもとづく改良	音声翻訳システムを改良し、実証実験地域のニーズに適した実験用音声翻訳システムを提供するため最適化を実施、日英中韓 4 言語における音声翻訳正解率が実証テストデータに対して 85% 以上を達成する。

・スケジュール

技術の種類	平成 27 年度	平成 28 年度	平成 29 年度	平成 30 年度	令和元年度
多言語音声翻訳技術の研究開発					→
多言語音声翻訳の利活用に関する開発・実証			→		

(2) 達成目標

国立研究開発法人情報通信研究機構（以下、NICT）が開発した多言語音声翻訳技術を活用したシステムの実用化に向けて、雑音抑制技術、画像処理技術、位置情報等と翻訳結果データの統合管理技術等を確立する。

また、開発成果の当該システム構成の要素技術の国際標準化を推進する。

○関連する主要な政策

V. 情報通信（ICT 政策） 政策 9 「情報通信技術の研究開発・標準化の推進」

○政府の基本方針（閣議決定等）、上位計画・全体計画等

名称（年月日）	記載内容（抜粋）
日本再興戦略 改訂 2014 -未来への挑戦-（平成 26 年 6 月 24 日 閣議決定）	第二 3つのアクションプラン 二. 戦略市場創造プラン テーマ 4：世界を惹きつける地域資源で稼ぐ地域社会の実現 テーマ 4-② 観光資源等のポテンシャルを活かし、世界の多くの人々を地域に呼び込む社会 ③世界に通用する魅力ある観光地域づくり、外国人旅行者の受入環境整備及び国際会議等（MICE）の誘致・開催の促進と外国人ビジネス客の取り込み ・ 美術館・博物館、自然公園、観光地、道路、公共交通機関等における多言語対応について、「観光立国実現に向けた多言語対応の改善・強化のためのガイドライン」（平成 26 年 3 月）に従って、全国各地で多言語対応を改善・強化するとともに、高精度測位技術等 ICT を活用した多言語による情報提供、ナビゲーションの高度化を推進する。
科学技術イノベーション 総合戦略 2014 ～未来創 造に向けたイノベーション の懸け橋～ （平成 26 年 6 月 24 日 閣議決定）	第 2 章 科学技術イノベーションが取り組むべき課題 第 2 節 産業競争力を強化し政策課題を解決するための分野横断技術について 3. 取り組むべきコア技術 【別表 工程表 分野横断技術】 （2）個々人が社会活動へ参画するための周囲の環境からの支援【工程表 分野横断（2）】 ①コア技術 政策課題解決における産業競争力強化策を実現するためのコア技術として、個々人が言語や文化の壁を超えるための多言語音声認識や翻訳技術、知識処理技術、自然言語・手話・ジェスチャーの意味や健康状態等を把握する技術、わかりやすく情報を提示するヒューマンインタフェース技術、物理的な支援を行うロボティクス技術等の「意思伝達支援技術」、・・・（中略）・・・を位置づけ、技術開発段階からの国際標準化及び国際展開、個人情報保護をはじめとした社会受容性向上や普及促進のための規制・制度整備等も含め推進する。
世界最先端 IT 国家創造 宣言（平成 25 年 6 月 14 日 閣議決定、平成 26 年 6 月 24 日 改定 閣議決 定）	Ⅲ.目指すべき社会・姿を実現するための取組 1. 革新的な新産業・新サービスの創出と全産業の成長を促進する社会の実現 （6）東京オリンピック・パラリンピック等の機会を捉えた最先端の IT 利活用による「おもてなし」の発信 本戦略の目標年である 2020 年には、東京オリンピック・パラリンピックが開催され、国内外から多数の観光客等が見込まれるところ、観光情報等のオープンデータの利用促進、・・・（中略）・・・、言葉の壁をなくす多言語音声翻訳システムの高度化や、ID 連携トラストフレームワークの整備等について、サイバーセキュリティ等、安全・安心の確保を図りつつ、最先端の IT 利活用による「おもてなし」を提供し、広く世界に発信することにより、IT 利活用の裾野を拡大するとともに、産業競争力の強化を図る。 Ⅳ. 利活用の裾野拡大を推進するための基盤の強化 4. 研究開発の推進・研究開発成果との連携 IT・データを利活用し、社会の発展や産業の活性化につなげるためには、絶え間ない先端技術の研究開発が重要であるとともに、それをいかに社会に実装していくかが重要である。 世界最高水準の IT 社会を実現し、維持・発展させるために、情報通信社会の今後の動向を見据えた研究開発を推進するとともに、独創的な人材の活用も図りつつ、イノベーションにつながる様々な先端技術、例えば、世界先端の各分野の科学技

	術が世界最先端の研究コミュニティと連携するための、先端的な国際ネットワーク拠点の構築や超高速ネットワーク伝送技術、認識技術、データの加工・分析技術、ソフトウェアの開発技術、非破壊計測技術、デバイス技術、センサー技術やロボット技術等、また、言葉の壁をなくす多言語音声翻訳システムの高度化に向けた研究成果を、迅速かつ的確に IT 戦略と連携させることも必要である。このため、総合科学技術・イノベーション会議等とも連携を図りつつ、研究開発及び社会実装を推進するとともに、その成果が国際標準となり、世界でも幅広く受け入れられるよう取組を推進する。
観光立国実現に向けたアクション・プログラム 2014（平成 26 年 6 月 17 日 観光立国推進閣僚会議）	5. 外国人旅行者の受入環境整備 （1）多言語対応の改善・強化 ＜多言語アプリの活用＞ 豊富な観光情報や地図情報等を備えた多言語対応観光アプリの活用により、外国人旅行者のスムーズな情報取得を促進するとともに、総務省「グローバルコミュニケーション計画」に基づいて多言語通訳・翻訳アプリ技術の研究開発の強化等を行い、精度向上を図ることにより、様々な地域・場面での多言語対応への活用を促進する。
防災・減災、国土強靱化のための 3 か年緊急対策 （平成 30 年 12 月 14 日 閣議決定）	第 3 章 各項目の主な具体的措置 I. 防災のための重要インフラ等の機能維持 （3）避難行動に必要な情報等の確保 ・災害時における多言語音声翻訳システムの高度化のための緊急対策（総務省）
外国人材の受入れ・共生のための総合的対応策 （平成 30 年 12 月 25 日 外国人材の受入れ・共生に関する関係閣僚会議）	2 生活者としての外国人に対する支援 (1) 暮らしやすい地域社会づくり ① 行政・生活情報の多言語化、相談体制の整備 【具体的施策】 多言語対応の基礎となり得る自動翻訳については、多言語自動音声翻訳技術を更に簡便に利用できる基盤となる「自動音声翻訳プラットフォーム」を民間事業者が立ち上げ、官民を問わず、自動音声翻訳技術を役務として享受可能な環境を整備することを支援するとともに、利用促進のための周知活動を実施する。 さらに、多言語自動音声翻訳技術については、特に訪日外国人旅行者の多い言語の翻訳精度向上に取り組んできたところ、これまでの取組に加えて、在留外国人に対応する観点から強化対象言語を追加し、併せて翻訳精度の向上を図る。

（３）目標の達成状況

（多言語音声翻訳技術の研究開発）

まず、研究開発課題ごとに達成すべき指標を掲げ、年次計画を作成して進めてきた。

研究開発技術の実用化に向けた集大成として、「分野横断実証」を実施した。これは、中部地域（岐阜市及び中部国際空港）を舞台として、社会実証 5 分野が密接に連携・融合し、すべての研究開発技術を岐阜市内一円に投入し、実際の業務等で長期間利用してもらい、技術の実用性を確認する狙いで開催したものである。これにより、各研究開発技術の実用性を総合的に評価し、加えて、社会実装に必要な諸要件（ソリューション方式、人的サポートや補完ツールとの組み合わせ要件、導入研修、等）を抽出するに至り、社会実装に向けた総仕上げをおこなった。

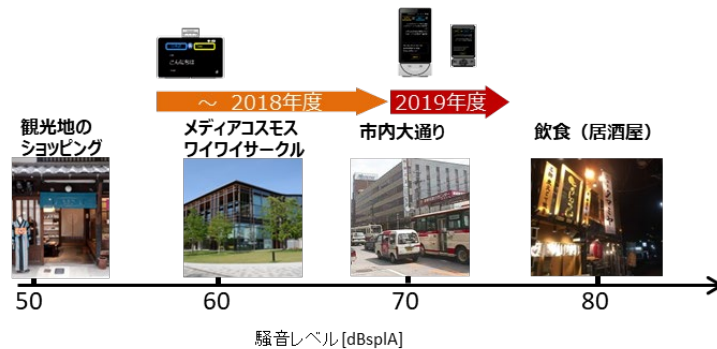
各研究開発技術が基本計画書に定める到達目標以上の成果を産み出し、さらに、それら技術とのインターフェースを有する「多言語音声翻訳 API サービス」を受託機関である民間企業が平成 30 年 12 月 20 日に立ち上げ、事業を開始したことで、アウトカム目標の実現に向けた盤石な土台を築いた。さらに、同民間企業が平成 31 年 4 月 26 日に音声翻訳エンジン等のソフトウェアメンテナンスおよびソフトウェアライセンス提供を加えた多言語音声翻訳プラットフォームの提供の事業を開始した。

これにより、多言語音声翻訳サービス提供者やデバイスメーカーが幅広く参入するための礎を築いた。

技術の種類	目標の達成状況
音声入力デバイスにおける雑音抑圧のための集音技術	音声入力デバイスに内蔵した複数のマイクにより発話者の音声を指向性集音することで雑音下での認識精度を改善する技術を開発し、最終目標である S/N 比＝0 dB の雑音環境下でも無指向性マイクを使用した場合の S/N 比＝20dB と同等の音声認識率を実現した。 また利用者の音声自体を抑圧せずに、十分な雑音抑圧を達成するために、発話・騒音を識別して方向を推定する音源方向推定技術、及び発話者の位置と周囲の騒音の方向・音量に基

づき、指向性の向きと範囲をパラメータ変更により制御する適応型ビームフォーミング技術を開発し、本研究で試作した音声入力デバイスに実装した。

開発した適応型ビームフォーミング技術を実装した音声入力デバイスを、各種様々な音響環境にて、その雑音抑圧性能の効果検証を実施した。雑音レベルは 50～80dBsplA⁴程度である。雑音抑圧技術を導入しない状態では、観光地のショッピング等の雑音が良好な環境でしか利用できなかったが、本研究で開発した雑音抑圧技術を導入することで、公共機関や繁華街の街角などの使用シーンが拡大することが可能になった。



さらに、高付加価値市場でのビジネス化を検討し、高雑音下でかつセキュリティが必要とされる市場と、高信頼性が要求される市場に一定のニーズがあることがわかったので、ユースケース（警察車両内、建築現場）を想定した専用音声入力デバイス（堅牢 PC タイプ、ヘルメットタイプ）を試作し、現在、社会実装を検討中である。

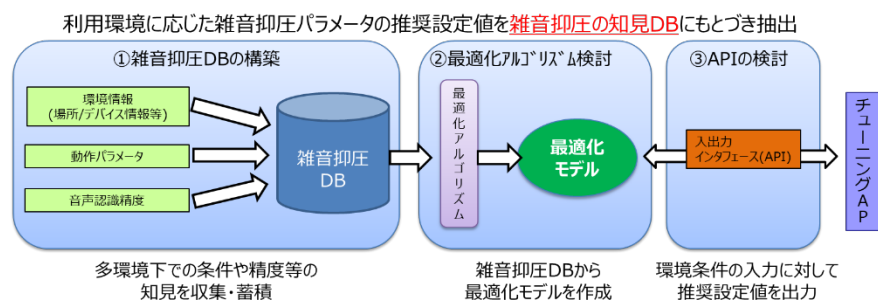
高付加価値市場でのビジネス化検討

・高雑音下 + セキュリティ / 高信頼性が要求される市場でのビジネス化を検討



多様な環境における雑音抑圧最適化技術

多様な環境下における効率的な機能配備／パラメータセット抽出手法である「多様な環境における雑音抑圧最適化技術」の研究開発を進め、雑音抑圧 DB の構築、最適化アルゴリズムの検討、API⁵の検討を行い、多言語音声翻訳プラットフォームサービスに適用可能な雑音抑圧最適化システムを実装し、雑音抑圧最適化技術を確立した。



本システムを用いた実証実験により、作業者の端末から屋外の様々な実証現場で雑音抑圧最適化作業を実施できることを確認し、実証実験で実施した最適化作業より得られたデータから、従来 150 人時以上必要であった雑音抑圧技術の適応作業コストを 75 人時以下に削減できることを確認した。

研究開発成果については、受託機関である民間企業において、プラットフォームサービス

⁴ decibel Sound Pressure level A characteristic の略。人の聴覚特性を考慮した音の大きさの単位。騒音の大きさを表す場合にも用いられる。

⁵ Application Programming Interface の略。様々な端末に多言語音声翻訳機能を提供するために定義した共通のインターフェース仕様。

	としての社会実装を検討中である。
翻訳自動学習技術（自動翻訳チューニング技術）	研究開発した翻訳自動学習の要素技術、ニューラル自動翻訳(NMT)技術、世界最大の話し言葉コーパス⁶に基づいて、GCP10 言語（日本語、英語、中国語、韓国語、タイ語、ベトナム語、インドネシア語、ミャンマー語、スペイン語、フランス語）・4 分野（医療、防災、ショッピング、観光）で翻訳率約 80%（誤訳率約 20%）を達成した。 翻訳自動学習の要素技術については、以下の成果を達成した。 ・自動翻訳結果の文（発話）単位の信頼度を高い精度で推定する技術を実現した。この技術は、具体的には、言語の流暢さや語単位の翻訳の良さ、文全体の翻訳の良さなどを示す統計量から総合的に信頼度を推定するものである。ベンチマーク用データにおいては、信頼度を推定せずにすべての翻訳文を出力する場合の翻訳精度 79%に対して、推定した信頼度の上位 80%に出力を絞ることで翻訳精度を 90%まで高めることができた。 ・複数逆翻訳法を提案し、有効性を確認した。逆翻訳法は、目的言語の単言語コーパスを原言語に逆翻訳して疑似対訳文を生成、その疑似対訳文で翻訳器を訓練する方法である。これに対して、複数の疑似原文をサンプリングによって生成することにより、疑似対訳文の多様性を増加させ、翻訳精度が向上することを確認した。 ・統計翻訳(SMT)と NMT を組み合わせる各種手法を提案し、世界的翻訳コンペで優秀な成績をあげた。1 つ目の手法は両者の出力(各々複数の出力)から最適な訳文を選択するものであり、WMT（注釈：機械翻訳に関する著名な国際ワークショップ。2006 年以来毎年開催）の平成 30 年のニュース記事翻訳タスクにおける 4 つの翻訳方向においてトップの成績を達成した。2 つ目の手法は、学習済みのモデルを用いて単言語データから翻訳文対を生成し、それに基づいて新たなモデルを学習することで SMT と NMT の双方を交互に改良するものである。この手法は、WMT2019 の教師なし翻訳タスクにおいてトップの成績を達成した。 ・実行速度が速くメモリも大量に消費せず実用性の高い GCP10 言語の高精度な自動翻訳・高精度な音声認識・自然性の高い音声合成の各エンジンをバイナリで技術移転した。また、一部、必要性が認められる場合には、ソースコードも提供している。 ・本課題の成果であるソフトウェアは今後も改良可能な優れたものであり、また、音声や翻訳のデータは古びることなく、永遠に有効な資産と言える。ここまではいわゆる逐次通訳を実現したところであるが、これらの成果を土台に同時通訳の研究が可能になる発展性のある成果である。またデータに関してはその価値が高いことから GCP10 言語に加えてフィリピン語やブラジルポルトガル語への拡張も進行している。また、中国語の台湾方言も需要が大きいことを鑑み対応した。 研究開発マネジメント上の特筆すべき点として、自動翻訳アルゴリズムにおいて SMT から NMT へのパラダイムシフトに平成 28 年度に速やかに対応した。まず、VoiceTra の日英双方向を換装し、その後 NMT に必須な GPGPU⁷を大量に導入して、遅滞なく GCP10 言語を NMT 化し、前記のように多言語音声翻訳を実用化した。 また、研究開発成果を活用し、基盤技術である音声翻訳エンジンに加え社会実装に向けた関連技術を開発し、サーバソフト、音声認識、音声合成、機械翻訳、モデルをパッケージで提供開始した。 さらに、開発した技術の利用を希望する企業に円滑に技術移転するため、ライセンス事業を受託機関である民間企業が開始した。
特殊文字認識技術	訪日外国人の日本国内における円滑なコミュニケーションを実現すべく、携帯端末で撮影したメニューや看板などの特殊文字に対し、翻訳を目的として高い精度で文字認識を実現する文字認識技術の開発を行った。 文字認識精度向上のため、撮影した画像内の各種ノイズを除去する画像補正技術として、輝度差補正二値化技術、特徴量抽出手法による画像処理技術の開発、および、両処理を複合的に組み合わせるアルゴリズムを開発し、総合的な文字認識精度向上を実現した。 また、従来の文字認識技術とは異なる技術開発による認識精度のブレークスルーを実現するため、DNN(Deep Neural Network)の一種である CNN による文字認識技術、および、CRNN（Convolutional Recurrent Neural Network）による文字認識技術開発を行った。 特に CRNN においては、特殊フォントに対応した学習用画像生成システムを開発し、同画像を用いた学習を行うことで同フォントに対応した文字認識エンジンを開発した。最終的に CRNN による文字認識エンジンを適用することとし、同エンジンによる文字認識率については、目標の 90%に対し、横書き文字列、縦書き文字列共に約 98%の認識精度を確認し、目標を達成した。 一方、従来の文字認識における文字誤検出による認識精度低下の防止、および CRNN に

⁶ 自然言語の文章や音声を構造化し、大規模に集積したもの。文とその対訳文からなる対訳コーパス、音声とそれに対応する文章からなる音声コーパス等がある。

⁷ General-Purpose computing on Graphics Processing Units の略。画像処理を高速に実行する GPU を、それ以外の計算用途に使えるようにしたものであり、AI で多用されている。

	2015年度	2016年度	2017年度	2018年度	2019年度
商用化					商用化
画像処理 技術開発	反射領域検出	輝度差二値化補正 → 統合	画像判別と 選択アルゴリズム	統合アルゴリズム	縦書き 認識対応
文字検出・認識 技術開発		特徴量抽出手法 による補正 → CNN文字認識	CNN文字認識 → SSD文字認識	CRNN文字認識 → EAST文字検出	複数行対応
実証実験 環境整備	クライアントアプリ 開発	実験用アプリ開発	実験用アプリ更新	実験用アプリ更新	デモアプリ開発 → 評価ツール開発
言語処理開発	誤り訂正システム 検討	訂正システム 構築・評価	システム改善	商用化に活用	
性能評価		都度開発エンジンの性能評価実施			最終エンジン評価

においては複数行文字列に対応するため、DNN の一種である SSD (Single Shot Multibox Detector)および EAST(An Efficient and Accurate Scene Text Detector)による文字検出技術の開発を行い、下記の頑健性評価結果より、約 80%の検出率を実現した。

言語処理における補正技術では n-gram⁸、WFST⁹を用いた自然言語処理を用いて文字認識結果における日本語らしさを評価し、誤認識を訂正する誤り訂正システムを開発、同システムによる認識結果の補正により総合的な精度向上を確認した。

上記の各開発エンジンに対し、最終的には CRNN と EAST による文字認識、文字検出エンジンを選択し、同エンジンによる撮影画像に対する文字列検出と文字認識を実現するデモアプリ、および評価ツールを開発した。同評価ツールを用い、上記の文字認識精度評価とは異なる評価セットである、メニュー、看板、フロアガイド等の画像を任意に収集した評価セットを用いた頑健性評価を実施し、文字検出率として約 80%、文字認識率として約 95%を確認した。また、同時に他社比較評価を実施し、本開発エンジンの優位性を確認した。

上記の各開発・評価においては、下図に示す通り、複数の開発を並走して実施し、その結果を統合させること、実証実験を含む評価結果を随時開発にフィードバックすることで、各開発の効率化を実現し、最終的な目標である社会実装においてすべて集約することができた。

以上の開発・評価結果をもって、上記の開発した文字検出エンジンと文字認識エンジンを、社会実装を目的に情景内文字認識ライブラリーとして商用化開発され、社会実装済である。

| 位置情報を活用した翻訳精度向上技術 | 実証に向けて、位置情報に基づく地域の翻訳辞書(スポット辞書)の切り替えが可能な音声翻訳システムを構築し、社会実装を想定した環境に実装した。タクシー内端末から、発話音声と位置情報を同時にサーバに送信し、位置情報に応じて該当する翻訳サーバ(辞書設定が異なるサーバ)に切り替えることを可能とした。 当該システムを活用したタクシーでの音声翻訳対話の実証実験の対話ログを用いて、用務達成状況を確認する分析を行った。3つの会話の内容(目的地設定、目的地関連情報、目的地外情報)に分類して会話の用務達成率の評価を実施した。その結果、言い直しを2回まで許容した場合において、目的地設定が 100%(目標 80%)、目的地関連情報が 93.5%(目標 60%)、目的地外情報が 83.7%(目標 60%)となり、いずれも用務達成率は目標値を達成した。なお、スポット辞書がない場合については該当単語を含む対話ログを用務未達成として算出し、用務達成率が 11%程度下がりスポット辞書の効果を確認した。 スポット辞書の構築・登録については、現状と比較すると人手の作業が必要であり、追加の運用コストとなる。コスト増を最小限にするため、自動翻訳機能や自動パラメータ設定機能を含む辞書登録を支援するツールを開発した。辞書構築に関わる作業時間短縮の評価実験を行い、当該ツールを使用しない場合と比較して、作業時間を 1/3 に短縮できる見込みを得られた。 研究開発成果については、受託機関である民間企業が、ベンチャー企業に事業移管する方向で、社会実装を検討中である。 | | | | |
| 多言語音声翻訳プラットフォームの開発 | 受託機関である民間企業が、平成 30 年 12 月 20 日に多言語音声翻訳 API サービス(以下、「API サービス」という。)として事業を開始し、API 仕様を公開した。 API サービスでは以下の技術とのインターフェースを有する。 - ・音声入力デバイスにおける雑音抑圧のための集音技術 - ・多様な環境における雑音抑圧最適化技術 - ・特殊文字認識技術 - ・位置情報を活用した翻訳精度向上技術 | | | | |

⁸ 自然言語処理の文字列評価手法(n-gram モデル)のこと。対象文字列の文字、単語の並び順がどれほど日本語としてもっともらしいかを算出する。

⁹ Weighted Finite-State Transducer (重みつき有限状態トランスデューサ)の略。n-gram による誤り訂正処理を実現するためのネットワーク構成のこと。

	また翻訳自動学習技術の成果を活用した多言語音声翻訳技術（以下、「音声翻訳エンジン等」という。）を活用している。 平成 31 年 4 月 26 日には、同民間企業が、音声翻訳エンジン等のソフトウェアメンテナンスおよびソフトウェアライセンス提供を加えた多言語音声翻訳プラットフォームの提供の事業を開始した。 行政機関の業務で多言語音声翻訳技術の活用を視野に、受託機関が中心となり、関係企業やセキュリティ監査機関も参画のもと、政府機関における多言語自動翻訳システム導入のための参照技術要件集（以下、「参照技術要件集」という。）を取りまとめた。参照技術要件集は言語バリアフリー関係府省連絡会議の第 5 回（令和 2 年 3 月 18 日～24 日）において共有・公表された。 令和 2 年 4 月 1 日には、同民間企業が、多言語音声翻訳プラットフォームの活用を促進するため、研究開発成果を活用し運用コストの削減、音声翻訳エンジン等の共用利用時のアクセス制御により低価格で利用可能な API サービスを開始した。 さらに同民間企業では、多言語音声翻訳プラットフォームの利用者の開発およびサービス立ち上げの支援として、概念実証（以下、「PoC」という）で利用可能なアプリケーション（以下、「アプリキット」という。）、およびソフトウェア開発キット（以下、「SDK」という）を試作し、社会実証参加企業へ提供した。今後、同民間企業において、この試作を活用し、他の民間企業へアプリキット、SDK を API サービスで提供される予定。
--	---

さらに、当初の目標を超えて、新たに生み出した成果について述べる。

<社会実証をトリガーとする社会実装へのアプローチ>

まず、5 分野の社会実証を通じて、特に鉄道、タクシー、医療の 3 分野については早期より実用性及びニーズが具体的に認められたため、事業期間中の社会実装に取組んだ。具体的には、鉄道分野における「駅コンシェル」、タクシー分野においては「鳥取県版多言語音声翻訳システム『TOTTORA』」、医療分野では、医療機関向けオンプレミスでの事業展開（クラウドベースは令和 2 年に提供予定）などである。

<行政機関の利用で求められるクラウドサービスのセキュリティ確保>

政府全体でクラウドサービス全体に係る政府調達に関して安全性評価制度等に関する検討が進められており、これらの検討結果に応じてプラットフォームのセキュリティ対応を進めている。また、地方公共団体での多言語翻訳システム導入に向けたガイドライン類の策定も進められており、これについても対応を進めている。

<グローバルコミュニケーション開発推進協議会における積極的な情報発信>

200 社超が参加するグローバルコミュニケーション開発推進協議会において、情報発信に積極的に取り組むと同時に、会員企業との活発なコミュニケーションを通じて、多言語音声翻訳技術の普及促進に取り組んだ。結果、会員企業から多数の多言語音声翻訳サービスが創出されるなど、業界全体の活性化につながった。

（多言語音声翻訳の利活用に関する開発・実証）

サービスリリース（事業化）及び、社会実装（普及）をめざして取り組みを進めてきた。研究成果は、音声翻訳アプリとして社会実装済みである。

技術の種類	目標の達成状況
多言語翻訳アプリの UI/UX の研究開発／社会実装および定着化のための研究開発	利用者の外国人対応における課題、アプリ利用状況、アプリの課題と、業種ごとシーンごとに求められる翻訳精度等について、仮設策定の上、調査にて検証を行い、多言語音声翻訳システムの重要な性能指標である翻訳精度（＝翻訳の正確さと読みやすさ）について、利用者は現実的にどれほどの精度であれば許容できるのか（＝利用に値する翻訳精度なのか）を明らかにした。 結果、今まで翻訳精度は「SAB 率」（主観評価による SABCD 評価の結果、全テスト文のうちの SAB 評価結果の含有率）で測っていたが、利用者の 6 割以上が B 以下の評価の翻訳結果文を許容しない（SA 評価の翻訳結果文の「利用意向」は 8 割以上だが、B 以下の評価になると 4 割以下に落ちる）ことがわかった。利用者が求める翻訳品質は、機械翻訳の研

	究において求められてきた一般的な品質よりも高く、多言語音声翻訳システムの利活用の推進のためには、今後は「SAB 率」ではなく「SA 率」を指標するべきではないかという示唆を得られる結果となった。 実証参加者の反応を元に、多言語音声翻訳アプリの UI/UX 改善のためのアップデートを実施完了した。 研究開発成果は、受託機関である民間企業において、UI/UX の改善のためのアプリ改修作業を実施の上、社会実装済である。
実証実験の運営／地域独自の対訳コーパスの作成	実証実験の運営方針を策定・実施し、課題抽出を含めた結果報告を完了した。 ○実験運営の方針 ・最適な UI/UX の検証のため、実証実験のサンプル数を増やし、データ精度を向上させる。 ○実験運営において実施したことの概要 下記の通り、実験開始前・実験中・実験終了後の3つのフェーズに分けて業務を実施した。 【1】実証実験開始前 過去実証実験参加者への調査実施による今年度改善点の洗い出し 実証実験の実施場所選定に係る事務、実施計画の策定、実施エリアへの導入（幹事団体向けの説明会と、参加者向け導入説明会を実施） 【2】実証実験中 幹事団体との各種コミュニケーション、参加者サポートのためのコールセンター設置等の運営業務、実施エリアにおける中間説明会の実施 【3】実証実験終了後 実施実験における課題の抽出、地域への結果の報告 ○実験運営における課題概要 ・業務用端末を有していない施設への導入課題 幹事による実証実験参加呼びかけの際、業務用端末（タブレット）を有していない施設の場合、従業員の個人携帯の業務利用は規則上許されていないことを理由に参加辞退が発生。タブレットも借用する形での実証参加モデルが、利用者にとって負担が少ないと考えられる。 ・幹事による実証実験参加者募集の課題 実証実験参加者呼びかけの段階では、幹事の手元には説明資料が少なく、参加者への実証参加メリットをうまく伝えられないことがある。幹事に事前に資料提供できればよいと考えられる。 ・幹事による実証実験中の利用者フォローアップ課題 実証実験の幹事と異なる民間企業が実証参加者からの問い合わせを集約したが、その結果、幹事が実証参加者の利用実態を適宜把握できなかったとの声があった。実証実験中に利用者の声や利用状況を幹事に定期的に共有することを、実験運営の中で仕組み化することが必要である。 また、地域独自の対訳コーパスとして、約138万文字の対訳コーパスを作成した。実証地域の要望を取りまとめながらコーパス収集を行い、収集したコーパスは、日本語から英語、中国語（簡体字／繁体字）、韓国語への翻訳をした。 研究開発成果は、受託機関である民間企業において、音声翻訳アプリとして商品化され、社会実装済みである。
実証実験システムの構築と運用／音声翻訳システムの最適化／実証実験結果にもとづく改良	○実証実験システムの構築と運用 後述する「音声翻訳システムの最適化」の成果を反映した音声翻訳システムを構築し、運用した。運用したシステムは、本実証実験の根幹となる多言語音声翻訳システムに加えて、事前テストサーバ、音声認識・翻訳ログ管理サーバとなる。 また、実証実験期間中、音声翻訳システムが提供するサービスレベルを適切に維持するため、音声翻訳サーバ監視、音声翻訳端末アプリ動作の定期的な確認、音声翻訳モデルの更新、の3つのメンテナンス作業を行った。 ○音声翻訳システムの最適化 音声翻訳システムを改良し、実証実験地域のニーズに適した実験用音声翻訳システムを提供するため、音声翻訳システムの最適化を行った。具体的には、次の項目を実施した。 ・ニューラル翻訳技術の導入 ・実証実験地域の特性に適合したコーパス(文書の集合)や語彙データを収集し、収集し

	たそれらのデータを用いて、音声翻訳システムを構成する音声認識部と、テキスト翻訳部のカスタマイズを計4回(平成29年5月1日、平成29年9月22日、平成29年11月30日、平成30年1月24日)実施 このカスタマイズにより、各地域特有の固有名詞や言い回しを含む発話に対する音声認識率(日・中・韓：文字正解率、英：単語正解率)を向上させ、今年度作成したテストセット GCP_2017 の平均で日本語 95.7%、英語 85.2%、韓国語 96.2%、中国語 97.7%のような結果となった。 テキスト翻訳の観点では、人手による5段階(SABCD)の主観評価を実施。入力文の内容が伝わっている文(SABC率)の割合をテストセット GCP_2017 を用いて確認した結果、すべての翻訳言語方向で85%を超えるSABC率(87~96%)を得た。特にNMT方式を導入した日英・英日では、日英SABC率96.77%、英日SABC率89.56%と、従来のSMT方式よりも高い結果を得た。これにより、ニューラル翻訳技術の効果を確認した。 また、音声翻訳処理全体に対する精度評価では、音声認識誤りが主観評価に与える影響度合いを確認した。その結果、日英方向(NMT)では、SABC率が1.9%の低下と、大きな影響を与えないものの、韓日方向では15.1%の低下と非常に大きな劣化につながる事が判明した。 さらに、多言語音声翻訳システムの実利用シーンでの有効性・有用性を客観的に評価・分析することを目的として実施した、ロールプレイによるタスク達成度評価では、全試行回数72回(4シーン×3シナリオ×2話者×3言語方向)のタスク達成度88.9%(タスク達成回数64回/72回)という結果を得た。実際の利用状況と異なり、ユーザーがジェスチャーなど他のコミュニケーション手段を選択しない、実環境特有のノイズがない、などこの実験に有利な点はあったものの、本実証実験で構築した音声翻訳システムを用いたコミュニケーションの有用性を確認できた。 ○実証実験結果にもとづく改良 本実証実験に適切なテストセットや評価指標を設定し、「音声翻訳システムの最適化」で作成した音声認識モデル、翻訳モデルの評価を行い、カスタマイズ作業の効果を測定した。 さらに、平成29年度の新たな評価の取り組みとして、音声翻訳システム全体としての総合的な有効性・有用性を評価するために以下2つを実施した。 ・音声翻訳処理全体に対する精度評価 ・実利用シーンを想定したロールプレイによるタスク達成度評価 また、平成28年度に導入したデータ収集・翻訳・モデル学習のワークフローの見直し作業とツール化を継続的に推し進め、翻訳モデルカスタマイズに必要な時間をさらに短縮(昨年度3ヶ月→2ヶ月)することができた。 研究開発成果は、受託機関である民間企業において、音声翻訳アプリとして社会実装済みである。
--	---

3 政策効果の把握の手法

研究開発の評価については、論文数や特許出願件数などの間接的な指標を用い、これらを基に専門家の意見を交えながら、必要性・効率性・有効性等を総合的に評価するという手法が多く用いられている。この観点に基づき、「情報通信技術の研究開発の評価に関する会合」(平成30年6月、令和2年6月)において、目標の達成状況等に関して外部評価を実施し、政策効果の把握に活用した。

また、外部発表や特許出願件数、国際標準提案件数等も調査し、必要性・有効性等を分析した。

4 政策評価の観点・分析等

○研究開発による特許・論文・研究発表・国際標準の実績からの分析

研究開発による特許・論文・研究発表の実績から、各開発技術に関する特許を出願するなど、成果展開に必要な技術を確実に確立しており、本研究開発の必要性、有効性等が認められた。

多言語音声翻訳技術の研究開発

主な指標	平成27年度	平成28年度	平成29年度	平成30年度	令和元年度	合計
査読付き誌上発表論文数	0件	0件	3件	0件	3件	6件

	(0件)	(0件)	(1件)	(0件)	(2件)	(3件)
査読付き口頭発表論文数 (印刷物を含む)	0件 (0件)	3件 (3件)	10件 (9件)	5件 (4件)	12件 (12件)	30件 (28件)
その他の誌上発表数	0件 (0件)	1件 (0件)	0件 (0件)	1件 (0件)	0件 (0件)	2件 (0件)
口頭発表数	6件 (0件)	20件 (1件)	18件 (1件)	13件 (5件)	14件 (5件)	71件 (12件)
特許出願数	18件 (2件)	11件 (4件)	10件 (5件)	18件 (10件)	7件 (0件)	64件 (21件)
特許取得数	0件 (0件)	0件 (0件)	2件 (0件)	6件 (2件)	6件 (3件)	14件 (5件)
国際標準提案数	0件 (0件)	0件 (0件)	0件 (0件)	0件 (0件)	0件 (0件)	0件 (0件)
国際標準獲得数	0件 (0件)	0件 (0件)	0件 (0件)	0件 (0件)	0件 (0件)	0件 (0件)
受賞数	0件 (0件)	0件 (0件)	0件 (0件)	0件 (0件)	2件 (1件)	2件 (1件)
報道発表数	1件 (0件)	4件 (0件)	6件 (0件)	2件 (0件)	3件 (0件)	16件 (0件)
報道掲載数	1件 (0件)	23件 (0件)	49件 (0件)	11件 (0件)	6件 (0件)	90件 (0件)

多言語音声翻訳の利活用に関する開発・実証

主な指標	平成27年度	平成28年度	平成29年度	平成30年度	令和元年度	合計
査読付き誌上発表論文数	0件 (0件)	0件 (0件)	0件 (0件)	0件 (0件)	0件 (0件)	0件 (0件)
査読付き口頭発表論文数 (印刷物を含む)	0件 (0件)	0件 (0件)	0件 (0件)	0件 (0件)	0件 (0件)	0件 (0件)
その他の誌上発表数	0件 (0件)	4件 (0件)	0件 (0件)	0件 (0件)	0件 (0件)	4件 (0件)
口頭発表数	1件 (0件)	2件 (0件)	3件 (1件)	1件 (0件)	0件 (0件)	7件 (1件)
特許出願数	12件 (0件)	0件 (0件)	0件 (0件)	0件 (0件)	0件 (0件)	12件 (0件)
特許取得数	0件 (0件)	1件 (0件)	7件 (0件)	0件 (0件)	0件 (0件)	8件 (0件)
国際標準提案数	0件 (0件)	0件 (0件)	0件 (0件)	0件 (0件)	0件 (0件)	0件 (0件)
国際標準獲得数	0件 (0件)	0件 (0件)	0件 (0件)	0件 (0件)	0件 (0件)	0件 (0件)
受賞数	0件 (0件)	0件 (0件)	0件 (0件)	0件 (0件)	0件 (0件)	0件 (0件)
報道発表数	0件 (0件)	1件 (0件)	0件 (0件)	0件 (0件)	0件 (0件)	1件 (0件)
報道掲載数	0件 (0件)	7件 (0件)	0件 (0件)	0件 (0件)	0件 (0件)	7件 (0件)

注1：各々の件数は国内分と海外分の合計値を記入。(括弧)内は、その内海外分のみを再掲。

注2：「査読付き誌上発表論文数」には、定期的に刊行される論文誌や学会誌等、査読(peer-review(論文投稿先の学会等で選出された当該分野の専門家である査読員により、当該論文の採録又は入選等の可否が新規性、信頼性、

論理性等の観点より判定されたもの))のある出版物に掲載された論文等(Nature、Science、IEEE Transactions、電子情報通信学会論文誌等および査読のある小論文、研究速報、レター等を含む)を計上する。

注3:「査読付き口頭発表論文数(印刷物を含む)」には、学会の大会や研究会、国際会議等における口頭発表あるいはポスター発表のための査読のある資料集(電子媒体含む)に掲載された論文等(ICC、ECOC、OFC など、Conference、Workshop、Symposium 等での proceedings に掲載された論文形式のものなどとする。ただし、発表用のスライドなどは含まない。)を計上する。なお、口頭発表あるいはポスター発表のための査読のない資料集に掲載された論文等(電子情報通信学会技術研究報告など)は、「口頭発表数」に分類する。

注4:「その他の誌上発表数」には、専門誌、業界誌、機関誌等、査読のない出版物に掲載された記事等(査読の有無に関わらず企業、公的研究機関及び大学等における紀要論文や技報を含む)を計上する。

注5:PCT(特許協力条約)国際出願については出願を行った時点で、海外分1件として記入。(何カ国への出願でも1件として計上)。また、国内段階に移行した時点で、移行した国数分を計上。

注6:同一の論文等は複数項目に計上しない。例えば、同一の論文等を「査読付き口頭発表論文数(印刷物を含む)」および「口頭発表数」のそれぞれに計上しない。ただし、学会の大会や研究会、国際会議等で口頭発表を行ったのち、当該学会より推奨を受ける等により、改めて査読が行われて論文等に掲載された場合は除く。

○各観点からの分析

観点	分析
必要性	日本に滞在する外国人は年々増加しており、多国籍の訪日外国人へ通訳・翻訳サービスを人手で提供するには限界があることから、この課題の解決策として、低コストかつ同時多数にサービス提供できる多言語音声翻訳技術への期待が高まっており、「日本再興戦略 改訂2014 -未来への挑戦-」(平成26年6月24日 閣議決定)では、外国人旅行者の受入環境整備として「多言語対応を改善・強化」を挙げている。 また「科学技術イノベーション総合戦略2014」(平成26年6月24日 閣議決定)においては、産業競争力を強化し政策課題を解決するための分野横断技術のコア技術として「個々人が言語や文化の壁を超えるための多言語音声認識や翻訳技術」を挙げている。 さらに、「世界最先端 IT 国家創造宣言」(平成26年6月24日 改定 閣議決定)では、「東京オリンピック・パラリンピック等の機会を捉えた最先端の IT 利活用による『おもてなし』の発信」の中で「言葉の壁をなくす多言語音声翻訳システムの高度化」を取り上げている。 加えて、「観光立国実現に向けたアクション・プログラム2014」(平成26年6月17日 観光立国推進閣僚会議)では、外国人旅行者の受入環境整備、多言語対応の改善・強化として、「『グローバルコミュニケーション計画』に基づいて多言語通訳・翻訳アプリ技術の研究開発の強化等を行い、精度向上を図ることにより、様々な地域・場面での多言語対応への活用を促進する」としていることから、音声翻訳技術の性能向上に向けた取組みが求められていた。 よって、本研究開発には必要性があったと認められる。
効率性	本研究開発の実施に当たっては、NICTが蓄積した既存の技術・ノウハウを最大限に活用し、メーカ等の技術力を結集して、音声認識精度を向上させる雑音抑制技術や画像処理技術及び位置情報等と翻訳結果データの統合管理技術等の研究開発が実施された。 また、研究開発成果の実用化に向けて、製品化を行うメーカのみならず、翻訳サービスを提供する病院、公共交通機関等の事業者とも連携した社会実証に取り組み、事業につながるアプリケーションの開発を行うことで、確実な社会実装を図ることとしており、またその際、外部有識者や他の研究機関との連携、チェックを行うことにより、効率的な開発を進められた。 よって、本研究開発には効率性があったと認められる。
有効性	製品化を行うメーカのみならず、翻訳サービスを提供する病院、公共交通機関等の事業者とも連携した社会実証に取り組み、本研究開発で開発する雑音抑制技術、画像処理技術、位置情報等と翻訳結果データの統合管理技術等の性能評価を実環境で実施することにより、実態に即した評価が得られ、その評価結果を反映して技術の開発ができた。このことにより、より実用性のある多言語音声翻訳技術を活用したシステムの実現に寄与すると認められるとともに、様々な民間サービスが誕生した。 よって、本研究開発には有効性があったと認められる。
公平性	本研究開発の成果として多種多様な翻訳サービスの提供を可能とする翻訳技術等の提供基盤(プラットフォーム)を広く一般に公開し、すべての事業者または個人が、本成果を用いた多種多様な民間サービスを創出することのできる環境を構築することができた。 また、研究開発委託先の選定に当たっては、公募を広く行い、応募者の提案について外部専門家・有識者から構成される評価会において最も優れた提案を採択する企画競争方式により、競争性を確保された。 よって、本研究開発には公平性があったと認められる。

優先性	我が国経済を持続的な成長軌道に乗せるためには、地域産業、あるいは観光地等の地域経済の活性化が重要であり、そのためには、いかに外国人観光客を継続的に呼び込めるかが重要な課題の一つである。これを実現するためには、外国人にとって日本滞在時の大きな障害の一つとなっている「言葉の壁」をなくし、日本滞在環境の改善を図ることで、再来日を促し、引いては日本経済の発展に資するものである。 このような問題意識から「日本再興戦略 改訂 2014 -未来への挑戦-」等の政府決定において、多言語音声翻訳の取組みが喫緊の政策課題として明記されている。 また、本研究開発の開始時点においては、2020 年にオリンピック・パラリンピック東京大会が予定されており大勢の外国人が日本を訪れることが予想されていた。大会を成功させるためには、それら外国人に適切な情報の提供を行い、十分なコミュニケーションをとれるようにする必要があった。 本研究開発は、多言語音声翻訳技術の研究開発及び社会実証に取り組むことにより、訪日外国人の滞在環境改善に資するものであり、早期に取り組む必要があった。 よって、本研究開発には、優先性があったと認められる。
-----	--

5 政策評価の結果（総合評価）

本研究開発の実施により、N I C Tが蓄積した既存の技術・ノウハウを最大限に活用し技術開発を実施するとともに、製品化を行うメーカーのみならず、翻訳サービスを提供する病院、公共交通機関等の事業者とも連携した社会実証に取り組むことで、より実用性のある技術を確立する。これらの技術を活用したサービスにより、訪日外国人の日本滞在環境の改善が図られることで、滞在日数の長期化や再来日の機会につなげることが期待されることから、本研究開発には有効性、効率性等があると認められる。

＜今後の課題及び取組の方向性＞

「多言語音声翻訳技術の研究開発」の波及効果について、以下のような例を想定しており、その実現に向けて今後も取り組む。

- ・雑音抑圧技術による、雑音下における会議での議事録作成や WEB 会議での音質明瞭化など音声認識や通話などへの幅広い展開
- ・翻訳自動学習技術（自動翻訳チューニング技術）を採用した多言語音声翻訳技術による、技能実習生対策の充実や 2025 年の大阪・関西万博で活用可能な同時通訳システムの出現
- ・特殊文字認識技術による、製造・物流・小売店分野における梱包印字チェックや消費期限などの商品情報の即時データ化、放送分野における動画テロップデータ化による動画アーカイブ化など、各種業務改善・効率化の実現
- ・位置情報を活用した翻訳精度向上技術による、対話型の多言語案内ロボット向けなど、音声認識用の多言語辞書作成への活用

「多言語音声翻訳の利活用に関する開発・実証」においては、上質なサービスを拡大させることで、音声及びテキストコーパスの収集が推進され、さらなる精度向上を波及効果として見込んでいる。

6 学識経験を有する者の知見の活用

「情報通信技術の研究開発の評価に関する会合」（平成 30 年 6 月、令和 2 年 6 月）において、目標の達成状況や得られた成果等について、研究開発の目的・政策的位置付け及び目標、研究開発マネジメント、研究開発成果の目標達成状況、研究開発成果の社会展開のための活動実績並びに研究開発成果の社会展開のための計画などの観点から、外部評価を実施し、以下の御意見等を頂いたため、本研究開発の評価に活用した。

（多言語音声翻訳技術の研究開発）

- ・基本計画の変更にも対応して社会需要を考慮した研究開発の目標設定となっている。政策目標との整合性も高く、訪日・在留外国人の増加や公共サービスへの対応など、研究開発開始当時に比べ格

段に増している社会的ニーズに答えるアウトプットが出ており、信頼性のある技術としての位置を確立している。クラウド化やセキュリティでは今後さらに課題が出てくる。

(多言語音声翻訳の利活用に関する開発・実証)

- ・研究開発の目的・目標設定は適切であり、実証実験のデータをうまく活用して当初予定の目標を大きく上回って達成したことに加えて、多くの知見を得られている。政策目標（アウトカム目標）の達成に向けて、今後の発展に向けた課題の明確化と、商用化について、長期的な視野を持って進めていくことに期待する。

7 評価に使用した資料等

- 日本再興戦略 改訂 2014 -未来への挑戦-（平成 26 年 6 月 24 日 閣議決定）
<https://www.kantei.go.jp/jp/singi/keizaisaisei/kettei.html>
- 科学技術イノベーション総合戦略 2014 ～未来創造に向けたイノベーションの懸け橋～
（平成 26 年 6 月 24 日 閣議決定）
<https://www8.cao.go.jp/cstp/sogosenryaku/2014.html>
- 世界最先端 IT 国家創造宣言（平成 25 年 6 月 14 日 閣議決定、平成 26 年 6 月 24 日 改定 閣議決定）
<https://www.kantei.go.jp/jp/singi/it2/decision.html>
- 観光立国実現に向けたアクション・プログラム 2014（平成 26 年 6 月 17 日 観光立国推進閣僚会議）
https://www.mlit.go.jp/kankocho/topics02_000075.html
- グローバルコミュニケーション計画 ～多言語音声翻訳システムの社会実装～（平成 26 年 4 月 11 日 発表）
https://www.soumu.go.jp/main_content/000285578.pdf
- 情報通信技術の研究開発の評価について
https://www.soumu.go.jp/menu_seisaku/ictseisaku/ictR-D/091027_1.html

令和 2 年度事後事業評価書

政策所管部局課室名：総合通信基盤局 電波環境課（室）

評価年月：令和 2 年 9 月

1 政策（研究開発名称）

300GHz 帯無線信号の広帯域・高感度測定技術の研究開発¹

2 研究開発の概要等

（1）研究開発の概要

・実施期間

平成 27 年度～平成 30 年度（4 か年）

・実施主体

民間企業等

・総事業費

1, 253. 3 百万円

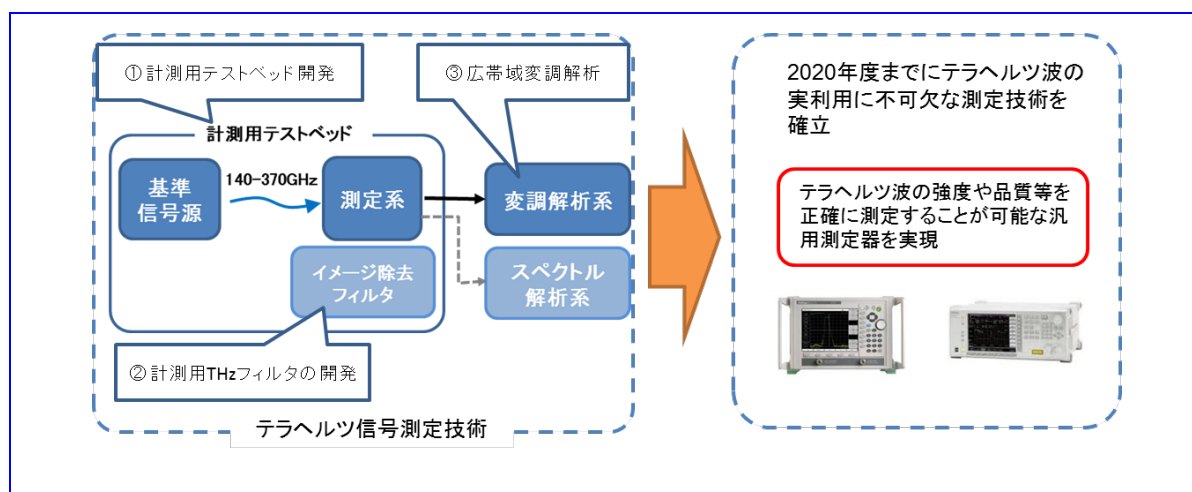
平成 27 年度	平成 28 年度	平成 29 年度	平成 30 年度	総 額
335. 0 百万円	353. 0 百万円	325. 3 百万円	240. 0 百万円	1, 253. 3 百万円

・概 要

140GHz から 300GHz 帯の送信信号の品質を高精度かつ高効率に評価するために必要な以下の要素技術を確認した。

ア 測定系内で信号を周波数変換する際に生じるイメージ成分を除去し、測定対象のみを抽出する高精度なフィルタの実現及び送信信号の品質を高精度に測定するために必要な測定環境の構築手法を含む送信系計測技術

イ ベースバンド帯域が 15GHz を超える変調信号の信号品質を定量的に評価可能とする広帯域変調解析技術



¹ ・事前事業評価は、「テラヘルツ無線信号の広帯域・高感度測定技術の研究開発」の名称により実施。
・新案件名「300GHz 帯無線信号の広帯域・高感度測定技術の研究開発」。平成 27 年予算で開始し、同年度に基本計画書を作成する際に評価会での評価結果を受け名称を変更したもの。

技術の種類	技術の概要
ア 送信系計測技術の開発 アー１）スペクトラム測定系構築技術	周波数帯域 140GHz～300GHz の信号を測定する技術は、高調波ミキサ²と既存の汎用測定器（スペクトラムアナライザ）を組み合わせることで実現できるが、変換損失が大きいため、微弱な信号を測定できない。さらに、本来必要な信号以外に複数のイメージ信号³成分が発生するため、本来必要な信号に重畳してしまい正しいスペクトラム測定を妨げてしまう問題もある。 本研究開発では、基本波ミキシング⁴またはサブハーモニックミキシング⁵を用いた周波数変換を採用することにより、低変換損失でかつ、高調波による不要なイメージ信号成分や、測定系内で発生するスプリアス（不要な周波数応答）信号成分の少ないスペクトラム測定⁶を実現する。さらに、測定系フロントエンドでのミキシングに使用する局部発振信号の信号純度も観測スペクトラムに影響を与えるため、外部の共振回路やフィルタの使用も含めた信号発生方法の検討を行い、低雑音特性を持つ局部発振器を開発する。
ア 送信系計測技術の開発 アー２）評価用信号発生技術	高感度な送信系計測技術の検証には、送信系計測技術の開発同様、評価用信号の発生技術も重要となる。信号レベルの絶対基準となり、測定帯域内を可変でき、かつスプリアス信号の少ない信号源が必要となるが、構成技術すら確立されていない。 本研究開発では、このような信号源を構成し、信号源の周波数特性等を補償する技術、出力信号レベルを校正する技術を開発する。
ア 送信系計測技術の開発 アー３）高精度フィルタ技術	正確なスペクトラム測定のためには周波数変換で生じる不要な信号を抑圧することが重要である。プリセクタ⁷を使用せずにミキサだけを使用したダウンコンバート処理の場合、ダウンコンバート時にイメージ成分が IF（中間周波数：Intermediate Frequency）信号に混入し、正確なスペクトル測定を実現できない。このため、測定におけるイメージ成分を除去し、測定対象のみを抽出する高精度なフィルタが必要となるが、この周波数帯で適切な市販のフィルタは存在しない。 本研究開発では、測定対象のみを抽出する高精度な可変フィルタを実現する。
ア 送信系計測技術の開発 アー４）高出力半導体アンプ技術	信号レベルの基準となる信号源の電力調整には、300GHz 帯の増幅器の使用が有効である。また、測定系及びそれを評価するための信号源に使用する局部発振信号を、所定の電力レベルまで増幅する増幅器が必要になる。測定器の広ダイナミックレンジ化には、特に局部発振信号の高出力化が求められるため、これらの 150GHz から 300GHz 帯の増幅器を準備する必要がある。
イ 広帯域変調解析技術の開発	モバイルバックホールのように長い通信距離が想定される通信では、雑音耐性の高い QPSK（四位相編移変調：Quadrature Phase Shift Keying）が有力な変調方式の一つと考えられているが、この周波数帯における高効率な広帯域 QPSK 通信技術の開発や運用に必要な信号品質評価のための変調信号解析技術は確立されていない。 現状では 20Gbit/s の QPSK 信号の定量評価も困難である。ダウンコンバータを使用することにより、形式的に測定系を構築することは可能であるものの、その測定値には被測定信号の真の特性と測定系の特性が分離されずに含まれ、測定系の周波数特性等を補償しない限り、正しい測定結果を得ることができない。 このことから、ミリ波・テラヘルツ波帯の変調信号の信号品質を高精度に評価可能な測

- ² 高調波ミキサ：受信信号と局部発振信号を入力とし、受信信号と、局部発振信号の高調波（整数倍の周波数成分）とを混合（ミキシング）して IF 信号（差周波数または和周波数の信号）を出力する回路。
- ³ イメージ信号：局部発振周波数より IF 周波数だけ離れた上下の周波数のうち、着目する方を IF 信号、他方をイメージ信号と称する。例えば、局部発振周波数より IF 周波数だけ高い成分を IF 信号として利用する場合、IF 周波数だけ低い成分がイメージ信号となる。イメージ信号を受信することにより混信（イメージ妨害）が発生することがある。
- ⁴ 基本波ミキシング：受信信号と局部信号発振器で発生した信号そのもの（基本波）を混合すること。
- ⁵ サブハーモニックミキシング：高調波ミキシングの中で 4 次程度までの低次のミキシング。例えば、受信信号と、局部発振信号の 4 倍の周波数成分（4 次高調波）とのミキシングを 4 次の高調波ミキシングあるいは 4 次のサブハーモニックミキシングと称する。断りなくサブハーモニックミキシングという場合、2 次の高調波ミキシングを指すことが多い。
- ⁶ スペクトラム測定：任意の信号について、これを構成する周波数成分を分析する測定方法。また、これを行う装置をスペクトラムアナライザという。
- ⁷ プリセクタ：受信機等に接続し、IF 信号へのイメージ等の不要信号の混入を避けることにより、特定の周波数の受信感度を向上することを目的としたフィルタ。

定装置の開発は喫緊の課題であるといえる。

QPSK 変調を用いた伝送速度 20Gbit/s の通信を考えると、シンボル速度⁸が 10GSymbol/s となり、信号帯域は最低でも 10GHz となる。現実にはシンボル間の干渉を抑えて高速伝送を実現するためのフィルタ（ナイキストフィルタ）を通すことで信号帯域が 10%以上広がることが多い。さらに、測定装置を実現する上では、信号帯域の外側への漏洩も含めた測定が求められるため、解析帯域幅を 15GHz 程度確保することが必要となる。また、アで実現するフロントエンドと組み合わせることによって、当該周波数帯の信号に対する高精度な変調解析を実現できることが必要である。

以上の実現方策として、例えば、ミリ波・テラヘルツ波帯広帯域変調信号に対応する IF 信号に対して低雑音の量子化と復調を行うことで高精度な EVM⁹測定が可能な変調解析系を構築することが考えられる。また、EVM 測定技術の実現においては、フロントエンドの振幅・位相特性や IQ インバランス¹⁰等を補償するための技術の確立が求められており、これらの補償が可能な構成を実現する必要がある。

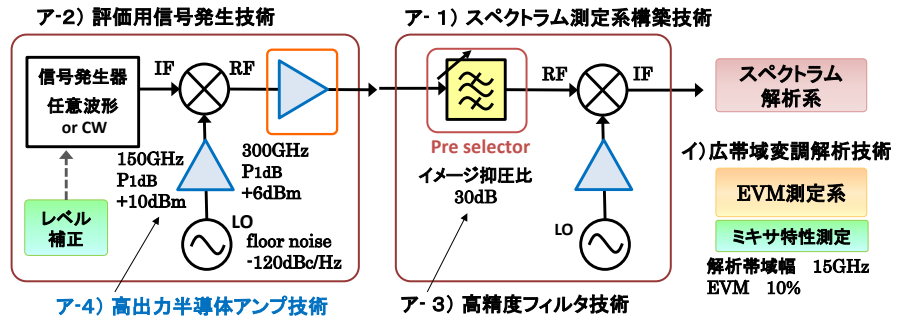


図 1：技術課題の内容と関連

・スケジュール



図 2：技術課題の研究開発計画

⁸ シンボル速度：1 回の変調で送信できるデジタルデータ（シンボル）の伝送速度。QPSK の場合、2bit で 1 シンボルを構成する。

⁹ EVM：エラーベクトル振幅（EVM：Error Vector Magnitude）はデジタル変調信号の品質の指標。デジタル変調信号は、横軸を搬送波と同じ位相、縦軸を搬送波と直交する位相にとったコンスタレーション図上のシンボル位置で表される。この理想的なシンボル位置と復調器により復調（測定）されたシンボル位置とのずれがエラーベクトルで、この大きさと理想シンボル位置の大きさとの比がエラーベクトル振幅（通常%単位で表される）。

¹⁰ IQ インバランス：EVM における、横軸（I 軸）、縦軸（Q 軸）の位相誤差及び振幅誤差。

本研究開発が対象とする周波数の範囲は 140GHz～300GHz であるが、標準導波管は対応する周波数範囲が定められており、単一の標準導波管で対応することはできない。そのため、本研究開発では、表 1 のとおり、周波数の範囲を標準導波管に対応するよう分割し、平成 27、28 年度は 255GHz～315GHz、平成 29 年度は 140GHz～190GHz、平成 30 年度は 185GHz～260GHz を中心に研究開発を実施する（300GHz 帯のスペクトラム測定は計画全体の中で主要な研究開発要素の 1 つであるため、初年度から取り組むこととした）。

表 1：スペクトラム測定系周波数構成

周波数帯[GHz]	140-190	185-260	255-315
バンド	G 帯	H 帯	J 帯
導波管	WR-5	WR-4	WR-3

（２）達成目標

本研究開発では、140GHz から 300GHz 帯を対象として、広帯域なテラヘルツ無線信号の信号品質を定量的に評価するために必要な測定手法、測定環境及び解析技術確立し、2020 年までに実用化が期待される広帯域なテラヘルツ無線信号の信号品質を定量的に評価するための汎用測定器の実用化、テラヘルツ帯への無線システムの移行に対応する技術基準策定等の円滑な促進などテラヘルツ帯の利用環境の整備を図ることにより、周波数の利用効率の一層の向上に資する。

○関連する主要な政策

V. 情報通信（ICT 政策） 政策 12「情報通信技術利用環境の整備」

V. 情報通信（ICT 政策） 政策 13「電波利用料財源による電波監視等の実施」

○政府の基本方針（閣議決定等）、上位計画・全体計画等

名称（年月日）	記載内容（抜粋）
電波有効利用の促進に関する検討会報告書（平成 24 年 12 月 25 日）	第 1 章 電波利用環境の変化に応じた規律の柔軟な見直し 1. 電波有効利用を促進する柔軟な無線局の運用 （3）周波数再編の加速 ② 電波有効利用技術の活用 □電波の有効利用を一層推進する観点から、今後は、センサーネットワーク、M2M、テラヘルツ帯デバイス、無人無線航行関連技術など、新たなニーズに対応した無線技術をタイムリーに実現するとともに、電波利用環境を保護するための技術について開発をより一層推進するため、国際標準化、国際展開も含め、成果の実用化に向けた各段階の取組の充実・強化を図ることが必要である。 第 3 章 電波利用料の活用の在り方 1. 電波利用料の新たな活用分野 （1）検討に当たっての基本認識 ① 昨今、スマートフォンの急速な普及等により、移動通信トラヒックが前年度比 2 倍以上の割合で増加する等周波数のひっ迫が深刻化していることを踏まえると、電波の有効利用や周波数の移行等に一層強力に取り組み、他の無線システムに割当て可能な周波数を生み出すことや追加的な周波数の割当てを回避することにより、周波数のひっ迫状況を迅速に緩和する対策の必要性が高まっていること

(3) 目標の達成状況

4年間の研究開発を通じて、140GHz から 300GHz 帯を対象として、広帯域なテラヘルツ無線信号の信号品質を定量的に評価するために必要な測定手法、測定環境及び解析技術を確立するために必要な以下の各要素技術ア及びイを確立した。

- ア 140GHz から 300GHz 帯の信号品質の測定技術及び測定環境構築技術並びに測定系内で生じる周波数変換時のイメージ成分を除去するフィルタの構成技術からなる送信系計測技術。
- 帯域幅 15GHz 以上で測定可能とする場合の信号解析実験系に使用する局部発振器について、基本計画書における目標値の-120dBc/Hz より優れたフロア雑音特性を達成した。
 - フィルタのイメージ除去比は、基本計画書における目標値の 200GHz において-30dBc 以下（イメージ除去比 30dB 以上）に対して実測値で-60dBc 以下を実現した。
 - 対象無線信号を高精度に測定するための 140GHz から 300GHz 帯に対応した実証システムを実現した。
- イ 140GHz から 300GHz 帯の QPSK 変調信号品質の広帯域変調解析技術。
- 基本計画書における目標値である、解析帯域幅 15GHz 以上で、エラーベクトル振幅 (EVM) 10%以下を達成した。
- なお、基本計画書作成時における既存技術の延長では、解析帯域幅 15GHz 以上においては EVM25%程度と想定され、EVM10%以下の測定精度を実現困難であった。しかしながら、EVM10%以下の測定精度を実現することは、テラヘルツ波無線通信信号の測定器に必要な不可欠な事項であることから、これを目標とした。

上記アとして開発した技術は、対象無線信号を高精度に測定する実証システムに実装し、適切に機能することを確認した。また、上記イとして開発した技術は、広帯域な無線通信の信号品質を高精度かつ高効率に解析できることを確認した。これらにより、広帯域なテラヘルツ無線信号の信号品質を定量的に評価するための汎用測定器の実用化、テラヘルツ帯への無線システムの移行に対応する技術基準策定等に必要な測定技術の確立など、テラヘルツ帯の利用環境の整備に資することを確認し、当初の目標を達成することができた。

技術の種類	目標の達成状況
ア 送信系計測技術の開発 ア-1) スペクトラム測定系構築技術	① スペクトラム測定系の方式検討 ・高感度なスペクトル測定を実現するため、スペクトラム測定系として複数の方式を検討した結果、スペクトラム測定系の主要構成要素であるスペクトラム測定用フロントエンドのミキサには局部発振信号(f_{LO})の2次高調波成分と RF 信号(f_{RF})とをミキシングする低変換損失のサブハーモニックミキサを用いた。さらに f_{LO} の周波数をステップ状に切り替える Local 周波数ステップ方式を採用した。(図3) ・被測定信号である RF 信号(f_{RF})、スペクトラム測定系の表示周波数により決定される局部発振信号(f_{LO})、ミキサにより周波数変換された IF 信号(f_{IF})の周波数構成を検討し、ミキサ内部で発生する高次のスプリアス成分を図示したスプリアスチャートを元に、複数の固定バンドパスフィルタから構成されるプリセクタの要求仕様を検討し、ア-3で開発する高精度フィルタの仕様を決定した。(図4) ② スペクトラム測定用フロントエンドの開発 ・本研究が対象とする周波数範囲 140~300GHz を G 帯/H 帯/J 帯 (表1参

照) の 3 つのバンドに区切り、各バンドにおけるスペクトラム測定用フロントエンドを開発した。(図 5)

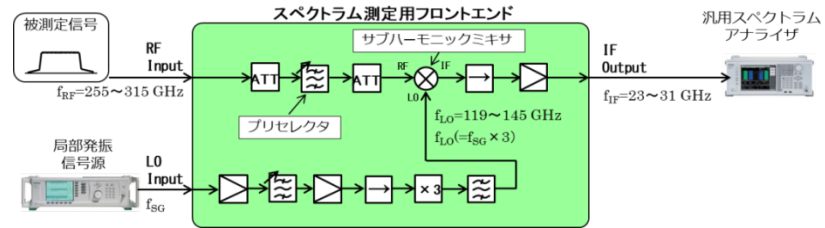


図 3 : スペクトラム測定系のブロック図 (J 帯)

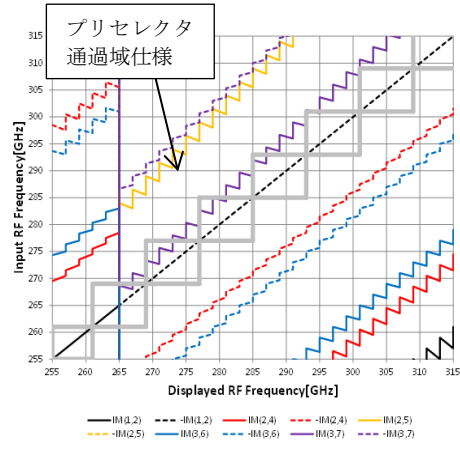


図 4 : スペクトラム測定系の
スプリアスチャート (J 帯)



図 5 : スペクトラム測定用フ
ロントエンド外観 (J 帯)

③ スペクトラム測定系の構築と評価

- スペクトラム測定用フロントエンドと局部発振信号源、汎用スペクトラムアナライザと組み合わせてスペクトラム測定系を構築した。局部発振器のフロア雑音性能は 5MHz オフセット以遠において目標値である-120dBc/Hz 以下を実現した。(図 6)
- スペクトラム測定系において IF 信号に周波数変換する際にミキサ内で生じる不要なスプリアス成分を除去するため、スペクトラム測定用フロントエンド内にアー 3 で開発した高精度フィルタ (プリセクタ) を実装することで、スプリアスレスポンス目標値-30dBc 以下 (イメージ除去比 30dB 以上) に対して実測値で-60dBc 以下を実現した。(図 7)

④ 統合システムの構築と評価

- H27~H30 年度に構築した G 帯/H 帯/J 帯スペクトラム測定系を組み合わせることで、スペクトラムを空間結合により測定することを目的とした統合システムを構築した。(図 8)
- 各バンドのスペクトラム測定系と被測定物との間の伝搬損失を評価した結果、G 帯/H 帯間の伝搬損失の差異が約 0.3dB、H 帯/J 帯間の伝搬損失の差異が約 1.1dB となり、測定系の設置誤差等から見積もった不確かさ以下であることを確認し、評価系の妥当性を確認した。(図 9)

	図 6：フロア雑音特性 (RF 周波数 280GHz, 分解能帯域幅 100kHz 時) 図 7：スプリアスレスポンス特性 (J 帯, RF 入力信号レベル-15dBm 時) (a) 統合システム全体構成 (b) 統合システム測定風景 図 8：統合システム 図 9：統合システムの伝搬損失特性
ア 送信系計測技術の開発 アー 2) 評価用信号発生技術	① 評価用信号発生技術の検討 - 信号レベルの絶対基準となり、スペクトラム測定系を性能評価するために十分なスプリアス性能を有する信号源を検討した。その結果、基準信号源の後段に YIG フィルタ¹¹とローパスフィルタ¹²、各通倍器の後段にバンドパスフィルタ¹³を配置し、スプリアスを低減する方式を採用した。さらに出力レベルを確保するため、アー 4 で開発した高出力半導体アンプを組み込み、使用帯域ごとに導波管型スイッチで切り替える方式を採用した。(図 10) ② 評価用信号源の開発 - アー 1 で開発したスペクトラム測定系のレベル校正および性能評価を行う評価用信号源を表 1 に示す周波数帯域ごとに開発した。(図 11) - 評価用信号源を性能評価し、スペクトラム測定系のレベル校正および性能評価を行うのに十分な出力レベルとスプリアス性能を有することを確認した。(図 12～図 14) ③ 校正手法の開発 - 評価用信号源の校正方法を検討し、国家計量標準器で校正したカロリメータを基準として評価用信号源の出力レベルを校正する方式を

¹¹ YIG フィルタ：共振器に合成強磁性結晶 YIG (Yttrium Iron Garnet) を用いた、バンドパスフィルタ。

¹² ローパスフィルタ：特定の周波数より低い周波数だけを通過させるフィルタ。

¹³ バンドパスフィルタ：特定の周波数帯だけを通過させるフィルタ。

採用した。加えてこの方式における評価用信号源のレベル不確かさを算出した。（表 2）

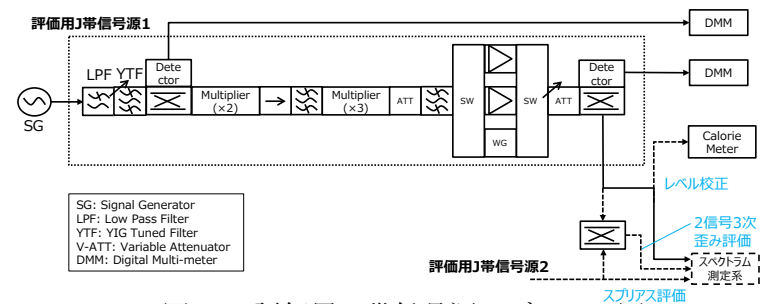


図 10：評価用 J 帯信号源のブロック図

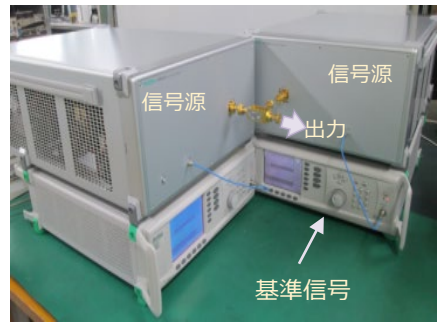


図 11：評価用 J 帯信号源の外観

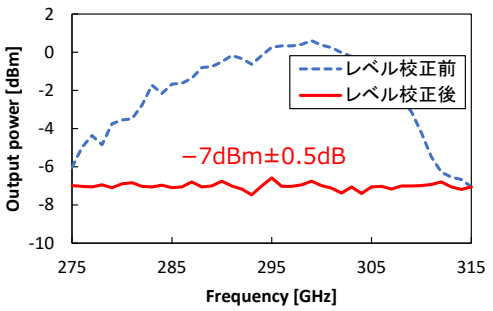


図 12：評価用 J 帯信号源の出力レベル

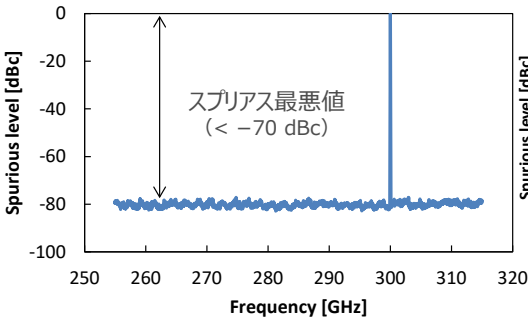


図 13：300GHz 出力時のスペクトラム波形

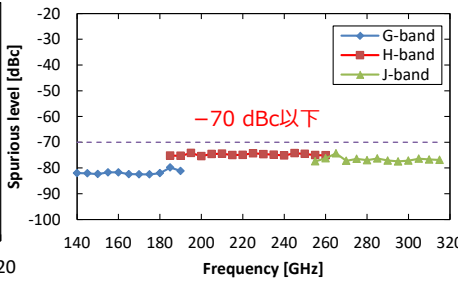


図 14：評価用信号源のスプリアス性能

表 2：評価用 J 帯信号源の出力レベル不確かさバジェットシート

不確かさ要因 ^①		タイプ	確率分布 ^②	値 ^③ [dB]	除数 ^④	不確かさ ^⑤ [dB]	備考 ^⑥
カロリメータの校正係数 ^⑦	$u(K_c)$	B ^⑧	正規 ^⑨	0.367 ^⑩	2 ^⑪	0.183 ^⑫	校正証明書に記載された拡張不確かさ ^⑬
信号源とカロリメータの不整合 ^⑭	$u(M_{SC})$	B ^⑮	U 字 ^⑯	0.055 ^⑰	$\sqrt{2}$ ^⑱	0.039 ^⑲	評価用信号源とカロリメータの反射係数から算出 ^⑳
カロリメータのレベル精度 ^㉑	$u(P_M)$	B ^㉒	矩形 ^㉓	0.274 ^㉔	$\sqrt{3}$ ^㉕	0.158 ^㉖	評価用信号源は出力レベル-7.5 <u>dBm</u> としてカロリメータのデータシートから算出 ^㉗
カロリメータの周波数特性 ^㉘	$u(P_N)$	B ^㉙	矩形 ^㉚	0.165 ^㉛	$\sqrt{3}$ ^㉜	0.095 ^㉝	校正周波数から直線補間して求めた各周波数における校正係数の変化分 ^㉞
導波管の接続再現性 ^㉟	$u(P_O)$	A ^㊱	正規 ^㊲	0.015 ^㊳	1 ^㊴	0.015 ^㊵	導波管フランジ 10 回着脱時における接続再現性の標準偏差 ^㊶
検波器の直線性 ^㊷	$u(P_D)$	B ^㊸	矩形 ^㊹	0.071 ^㊺	$\sqrt{3}$ ^㊻	0.041 ^㊼	検波器を値付けするカロリメータのデータシートから算出 ^㊽
検波器の測定ばらつき ^㊾	$u(P_O)$	A ^㊿	矩形 ^㊿	0.080 ^㊿	$\sqrt{3}$ ^㊿	0.046 ^㊿	感度が最も低い周波数で検波器での換算出力レベルを 10 回測定し、算出 ^㊿
			合成標準不確かさ ^㊿			0.27 ^㊿	
			拡張不確かさ (k=2) ^㊿			0.54 ^㊿	

ア 送信系計測技術の開発

アー 3) 高精度フィルタ技術

- ① 高精度フィルタ方式検討
- 高精度フィルタの実現方式として、140GHz 帯で開発実績のある導波管内にファブリペロー共振器を構成する（FPW：Fabry-Perot

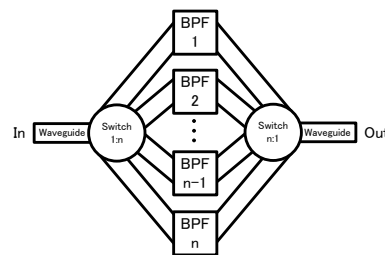
resonator inside Waveguide) チューナブル (周波数可変) フィルタ方式と固定フィルタの切り替えによるフィルタバンク方式を検討し、より挿入損失を低減できるフィルタバンク方式の採用を決定した。

(図 15)

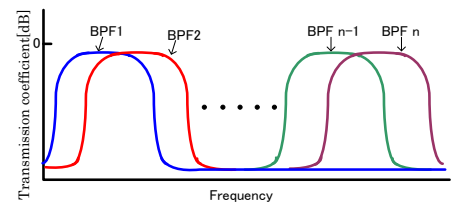
- 従来のフィルタバンクと比べ、構成部品が少なく小型で低損失な特性を実現できる新たなフィルタバンクを開発した。開発したフィルタバンクは、水平可動式の導波管スイッチ内にバンドパスフィルタを内蔵する構成であり、バンドパスフィルタを含む可動部と入出力側の固定部との間に隙間を空けることにより、摩耗による性能劣化を抑制し長寿命化を図っている。また、隙間からの電磁波漏れを防ぐチョーク機構を検討し、広帯域な使用帯域を実現する新たなチョーク機構の開発も行った。(図 16)

② 高精度フィルタの開発

- 高精度フィルタ 2 次試作器である WR-5 帯フィルタバンク (140GHz～190GHz)、高精度フィルタ 3 次試作器である WR-4 帯フィルタバンク (185GHz～260GHz) 及び WR-3 帯フィルタバンク (255GHz～315GHz) の開発を実施した。(図 17)
- 試作器の評価結果より本研究開発の成果目標である、周波数範囲 140GHz ～ 300GHz、イメージ抑圧比 30dB 以上の達成を確認した。(図 18～図 20)

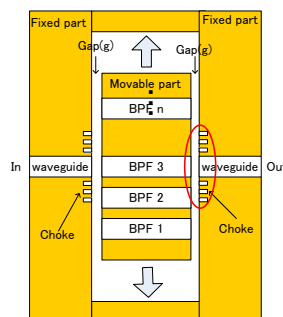


(a) フィルタバンクブロック図

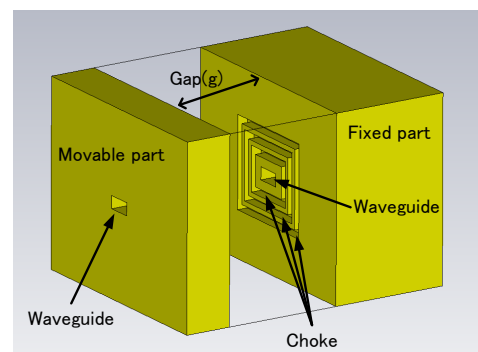


(b) フィルタバンク周波数特性

図 15：フィルタバンク原理図

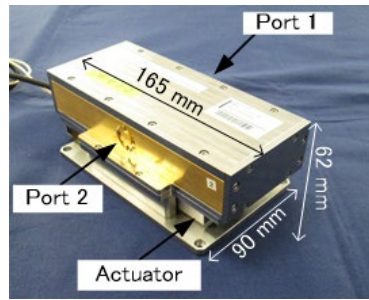


(a) フィルタバンク断面図

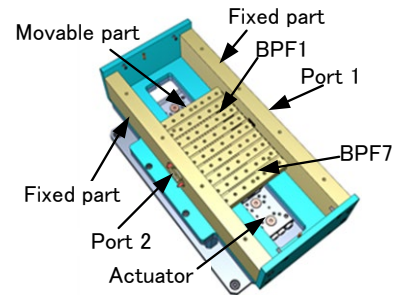


(b) 可動部と固定部の隙間部分拡大図

図 16：開発したフィルタバンク



(a) 外観図



(b) 内部イメージ

図 17：高精度フィルタ 2 次試作器（WR-5 帯フィルタバンク）

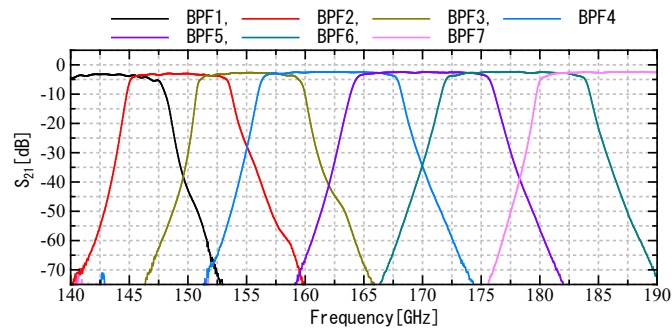


図 18：WR-5 帯フィルタバンク（140GHz～190GHz）測定結果

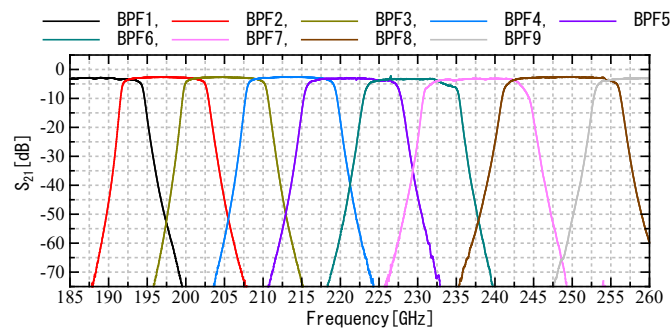


図 19：WR-4 帯フィルタバンク（185GHz～260GHz）測定結果

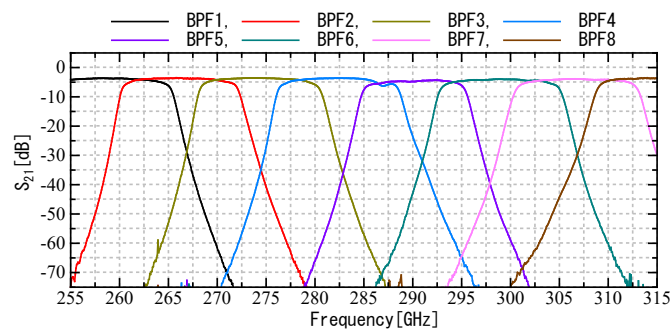


図 20：WR-3 帯フィルタバンク（255GHz～315GHz）測定結果

ア 送信系計測
技術の開発

アー 4) 高出力
半導体アンプ技
術

① 半導体高耐圧デバイス・回路技術

パワーアンプ（高出力増幅器）高度化のための要素技術として、InP-HEMT¹⁴製造プロセスの特性再現性および面内均一性の向上にむけた検討を行った。具体的にはゲート電極の形成工程、および 1 層配線形成前

¹⁴ InP-HEMT：インジウム燐（InP）を用いた高電子移動度トランジスタ（HEMT：high electron mobility transistors）

のシリコン酸化膜形成工程を最適化した。この結果、試作毎における再現性を担保しながら、InP-HEMT 特性の面内均一性をこれまでと同等以上とする InP-HEMT 製造プロセスを実現した。また、本研究開発で作製した高速版／高耐圧版 InP-HEMT の長期安定性試験を種々のバイアス条件にて 1000 時間実施し、パワーアンプ応用に向けた InP-HEMT の特性の長期安定性が確保できる動作範囲で確認した。さらに、配線電流容量を向上させるため、基板エッチングレート¹⁵の累積データとの比較から、エッチング装置¹⁶の不安定性を検出し、エッチングレートの許容値を設定する手法を導入した。これらの工程管理によって、基板貫通ヴィア¹⁷と裏面配線間の電気抵抗を低減して高電流容量化が可能な裏面配線形成プロセスを実現した。

図 21 にパワーアンプ形成裏面の基板貫通ヴィアおよび高電流容量配線の光学顕微鏡像を示す。工程管理によって基板貫通ヴィアの形成不良など無く、裏面配線が形成されていることが分かる。電流容量を高く維持できる裏面配線を形成することが可能なエッチング工程管理手法を構築した。

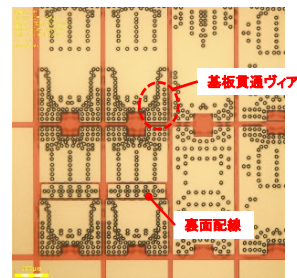


図 21：パワーアンプ回路裏面へ形成した基板貫通ヴィア及び裏面配線

② 導波管アンプモジュール技術

また、150GHz 帯アンプについては、アンプバイアス条件¹⁸の最適化を行うことにより、高線形バイアス条件を適用し、1dB 利得抑圧点出力 +10dBm を達成した。

図 22 に 150GHz 帯アンプの構成を示す。単位増幅段は、複数段構成のソース接地増幅器¹⁹で構成され、このうち、入力部側は利得増幅段として領域 A（トランスコンダクタンス²⁰の最大値近傍のバイアス領域²¹）に

15 基板エッチングレート：基板をエッチング（食刻。溶液や気体との化学反応などを用いて基板表面を削る成形法）する際の速さ（エッチング深さ／時間）。

16 エッチング装置：基板にエッチングを行う装置。本研究開発においては溶液を用いるウェットエッチングとプラズマ中の反応種を用いるドライエッチングを行うことができる装置を用いた。

17 基板貫通ヴィア：基板の表裏層を電氣的に接続する（導通させる）ため、基板を貫通した穴に銅メッキ層を形成したもの。

18 アンプバイアス条件：アンプが動作するために必要な直流電圧値。

19 ソース接地増幅器：ソース電極を接地（共通端子に接続）し、ゲート電極を入力端子、負荷抵抗を接続したドレイン電極を出力端子とする増幅回路。HEMT は FET（電界効果トランジスタ）の一種であり、FET はゲート、ソース、ドレインの 3 端子を持つ。

20 トランスコンダクタンス：相互コンダクタンス。ソース接地回路でのゲート電圧変化に対するドレイン電流変化の比率。増幅率に関連する指標で、コンダクタンス（電気抵抗の逆数）と同じ単位を持つ。

21 バイアス領域：トランジスタ等の安定動作が可能なバイアス条件の領域。

バイアスされたトランジスタを用い、出力側は、入力側で大きく増幅された大振幅の高周波信号を線形性高く増幅するための線形増幅段として、領域B（トランスコンダクタンスがなだらかに変化するバイアス領域）にバイアスされたトランジスタを用いている。この、バイアス条件を調整するための回路として、図右下の点線内に示すような抵抗分割型のゲートバイアス回路を用いた。図 23 に 150GHz 帯アンプのチップ(a)とモジュール(b)の写真をそれぞれ示す。導波管モジュール化においては導波管と集積回路を接続するカップリング損失が問題となる。NTTにおいて実績のあるリッジカプラー構造について、300GHz 帯は改良設計、150GHz 帯は新規設計を行った。図 24 に作製した 150GHz 帯パワーアンプモジュールの入出力特性の評価結果を示す。上記の工夫によって、1dB 利得抑圧点出力（OP1dB）として+10.7dBm が得られた。

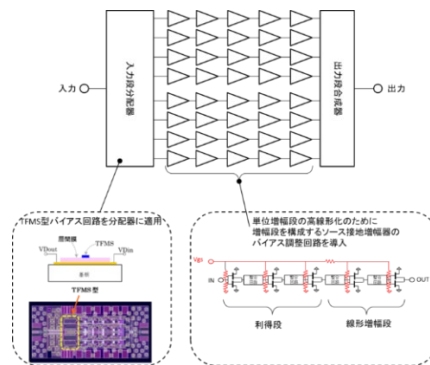


図 22：高線形 150GHz 帯アンプの構成

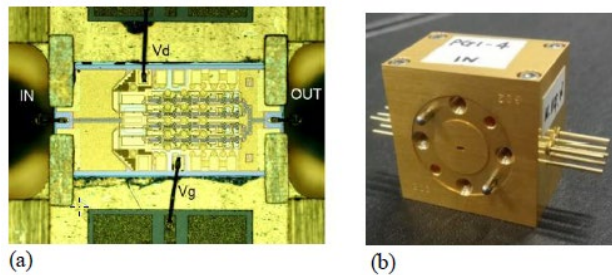


図 23：150GHz 帯アンプのチップ(a)とモジュール(b)

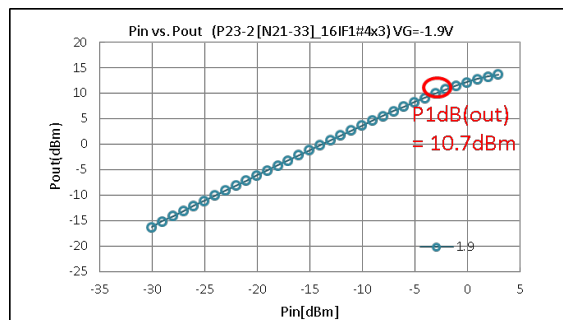


図 24：150GHz 帯アンプの入出力特性

300GHz 帯アンプについては、4 フィンガーFET²²のデバイスモデルを

²² 4 フィンガーFET：4つの電界効果トランジスタ（FET：Field effect transistor）を並列接続した構造の素子で、その全体を1つのFETとして動作させる。FETはゲート電極に電圧を加えることでチャネル領域に生じる電界によって電子または正孔の密度を制御し、ソース・ドレイン電極間の電流を制御するトランジスタ。高出力（大電流）を扱うにはチャネル領域を広くする必要があるが、作製時に生じる特性のばらつきを抑えるためにFETを複数に分割し

	用いて2フィンガーFET、4フィンガーFETを組み合わせた高線形単位アンプ構造を有する8並列出力構成のパワーアンプを検討した。出力段のコンバイナは低インピーダンス伝送線路の適用により合成損失の低減を図った。本パワーアンプ回路により、1dB 利得抑圧点出力+6dBm をモジュールにて達成した。 図 25 に 300GHz 帯のアンプの構成を示す 6 段構成のうち、前段 3 段は利得段として利得の大きな 2 フィンガーFET により構成し、後段 3 段は線形増幅段として利得は小さいが線形性の高い 4 フィンガーFET を用いることで、利得・線形性・消費電力のバランスを取った構成とした。図 26 に作製した 300GHz 帯パワーアンプモジュールの入出力特性の評価結果を示す。上記の工夫によって、315 GHz において、1dB 利得抑圧点出力 (OP1dB) として+6dBm が得られた。 図 25：300GHz 帯アンプの構成 図 26：300GHz 帯アンプの入出力特性
イ) 広帯域変調解析技術の開発	① 周波数コンバータ評価・補償方法の検討 - 複数の評価・補償方法について調査・検討し、周波数コンバータの相互性を前提とした複数の方法について検証装置を構築し、周波数コンバータの特性を実測した。その結果、高周波数帯において導波管を用いた周波数コンバータではその機械的制約から前提条件となる相互性を得ることが困難であることを確認した。 - 相互性を前提としない評価・補償方法を検討し、電気光学サンプリング法²³を用いて直接 300GHz 帯の信号を測定する方式を採用し、検証装置として、短パルス光源の繰返し周期の高調波に同期させたマルチトーン信号を基準信号として用いる補償パラメータ抽出系²⁴を構築した。 図 27：補償パラメータ抽出系ブロックダイアグラム

て並列にした構造が採られる。FET が並列された形状を指になぞらえて、フィンガーと称される。

²³ 電気光学サンプリング法：印加された電界に応じて屈折率が変化する電気光学効果の一つであるポッケルス効果（電界に比例して屈折率が変化する現象）に基づき、サンプリングパルスとして短パルス光を使用することにより、所定の時刻の電界を測定する手法。

²⁴ 補償パラメータ抽出系：本研究開発において、広帯域変調解析を行うに当たって、周波数コンバータの振幅・位相特性を補償するために用いるパラメータを抽出する系。

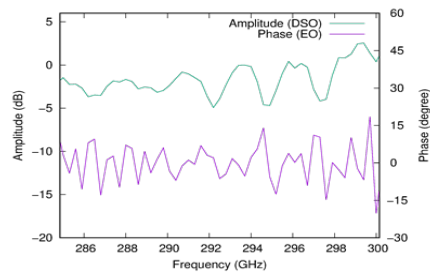


図 30：振幅・位相特性測定結果

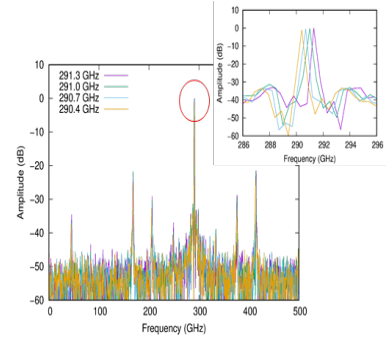


図 29：4 波マルチトーン信号のスペクトラム

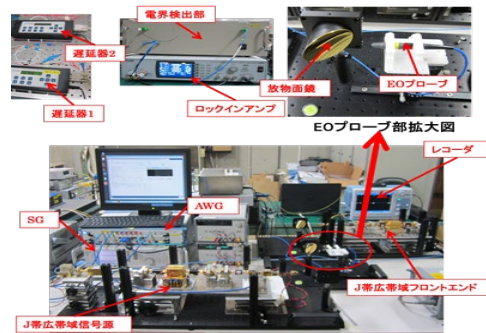


図 28：補償パラメータ抽出系外観

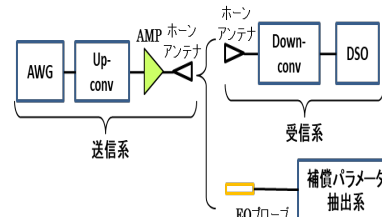


図 31：変調解析系のブロックダイアグラム

② 変調解析系²⁵の構築と評価

- 抽出された補償パラメータの検証用途として、J 帯広帯域変調信号源、J 帯広帯域フロントエンド、変調解析系信号処理部と復調・補償用ソフトウェアからなる変調解析系を構築し、中心周波数 307.5GHz、20Gbit/s の QPSK 信号の復調及び EVM 測定を確認した。
- G 帯広帯域フロントエンド及び G 帯広帯域変調信号源を試作し、G 帯に対応した変調解析系を構築し、中心周波数 150GHz、20Gbit/s の QPSK 信号の復調及び EVM 測定を確認した。
- 補償パラメータ抽出系により抽出された補償パラメータの検証のため、変調解析系に補償パラメータを適用し、変調解析系の残留 EVM の評価を

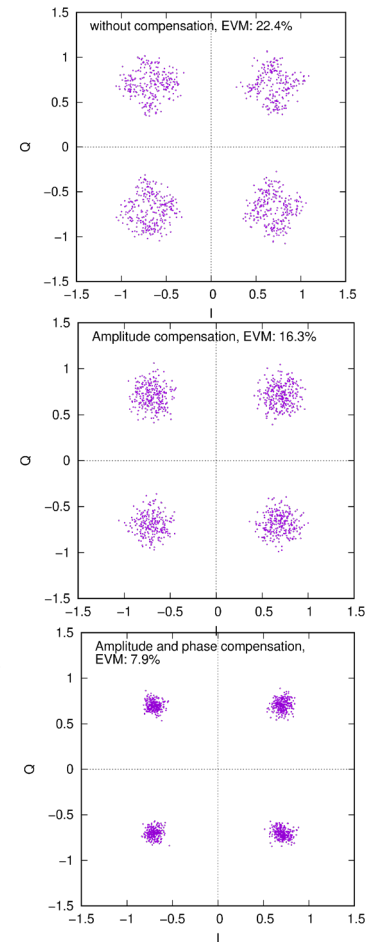


図 32：補償有／無のコンスタレーション比較

(QPSK, f_c : 292.5 GHz, 10.2 Gbaud, Roll off: 0.5)

²⁵ 変調解析系：本研究開発において、送信系において変調された信号を受信・変調解析する系。変調解析に当たっては、補償パラメータ抽出系において抽出した補償パラメータを用いて EVM 改善を行っている。

	実施した。キャリア周波数 292.5GHz、10.2Gbaud、Roll off 0.5 の QPSK 変調信号を送受し、振幅・位相特性測定結果を用いて周波数特性を補償した結果、振幅特性のみを補償すると EVM が 22.4% から 16.3% に改善されるのに対して、振幅・位相特性ともに補償すると更に改善され 7.9% の EVM が確認された。これにより、300GHz 帯 QPSK 信号に対して基本計画書における目標値である EVM10% 以下を達成した。
--	--

3 政策効果の把握の手法

本研究開発終了後には、外部専門家・外部有識者から構成される「電波利用料による研究開発等の評価に関する会合」（令和元年 8 月 28 日）において、目標の達成度、実施体制の妥当性及び経済的効率性、実用化等の目処等について外部評価を行い、政策効果の把握を行った。

4 政策評価の観点・分析等

○研究開発による特許・論文・研究発表・国際標準の実績からの分析

研究開発による特許・論文・研究発表の実績から、各開発技術に関する特許を出願するなど成果展開に必要な技術を実実に確立している。

また、国際電気標準会議（IEC）における 300GHz 帯スペクトラム測定法の国際標準化に向けて、IEC TC103²⁶（Transmitting equipment for radiocommunication）WG6 の国内委員会に参加し、標準化に向けた活動を継続。2018 年 10 月、韓国 釜山開催の IEC TC103 国際会合にて、予備技術報告書原案（PreDTR）として提案し承認されるなど、国際標準化に貢献しており、本研究開発の必要性、有効性等が認められた。

研究開発による成果数及び合計成果数（実績）主な指標	平成 27 年度	平成 28 年度	令和 29 年度	平成 30 年度	合計
査読付き誌上発表論文数	0 件（0 件）	1 件（0 件）	0 件（0 件）	2 件（0 件）	3 件（0 件）
査読付き口頭発表論文数（印刷物を含む）	0 件（0 件）	0 件（0 件）	1 件（1 件）	2 件（2 件）	3 件（3 件）
その他の誌上発表数	0 件（0 件）	0 件（0 件）	1 件（0 件）	2 件（0 件）	3 件（0 件）
口頭発表数	3 件（0 件）	6 件（0 件）	7 件（0 件）	5 件（1 件）	21 件（1 件）
特許出願数	1 件（0 件）	3 件（0 件）	3 件（0 件）	4 件（0 件）	11 件（0 件）
特許取得数	0 件（0 件）	0 件（0 件）	0 件（0 件）	3 件（0 件）	3 件（0 件）
受賞数	0 件（0 件）	0 件（0 件）	0 件（0 件）	1 件（1 件）	1 件（1 件）

注：各々の件数は国内分と海外分の合計値を記入。（括弧）内は、その内海外分のみを再掲。

○各観点からの分析

観点	分析
必要性	ミリ波・テラヘルツ波帯の通信に関しては、2020 年頃に 20G-40Gbit/s 程度の実用化が期待されており、情報 KIOSK、モバイルバックホール、データセンター内の通信、スポーツ中継などの 4K/8K 映像コンテンツやリアルタイム遠隔手術現場のケーブルレス化のための高精細画像非圧縮伝送、コンピュータ等の機器内のボード間通信、THz カメラやセンシングなど、様々な形で社会生活に浸透していくこと

²⁶ IEC TC103：IEC（国際電気標準会議）は電子技術分野の国際標準化活動を行っており、TC103 は IEC 内の 23 の TC（Technical Committee）の 1 つとして無線用送信装置（Transmitting equipment for radiocommunication）に関する標準化を行っている。TC103（幹事国：フランス、議長国：ドイツ）の国内審議団体は（一社）電子情報通信学会である。

	が予想され、また、国際機関等においても、ITU-R WP1A で周波数管理の検討が進められているほか、IEEE 802.15 Study Group 100Gbit/s Wireless においても国際規格化の検討が進められている等、国際標準化に向けた取組が加速している。 通信システム間の干渉を避け、ミリ波・テラヘルツ波帯における電波の効率的な利用を実現するためには、厳密な技術基準の策定やその適合性確認のための試験方法の導入が必要であり、広帯域な無線通信の信号品質を、高精度かつ高効率に測定するための測定手法や測定環境、解析技術を確立することが不可欠であった。 本研究開発は、無線システムに使用される周波数資源のミリ波・テラヘルツ波帯への移行を促進するための基盤として、140GHz から 300GHz 帯の無線信号を高精度かつ高効率に測定するために必要な技術を実現するための研究開発であり、高度な技術が求められる基礎研究のため民間のみで実施困難であるとともに、ワイヤレスシステムのミリ波・テラヘルツ波帯への移行や周波数の有効利用を促進し、我が国のワイヤレス分野における国際競争力強化を図るため、研究そのものを国が主導して実施する必要があった。 よって、本研究開発には必要性があったと認められる。
効率性	本研究開発は、無線システムに使用される周波数資源のミリ波・テラヘルツ波帯への移行を促進するための基盤として、140GHz から 300GHz 帯の無線信号を高精度かつ高効率に測定するために必要な技術を実現するための研究開発であり、その要素技術の開発が必要不可欠であり、他に効率的で質の高い代替手段はない。 本研究開発の実施期間中も受託各社の研究代表者・実務者の定期的会合において各社の進捗状況や課題が調整・共有され、さらに外部の有識者と受託者から構成されるアドバイザー委員会や、外部有識者による継続評価において、研究進捗や進め方等について助言を受けるなど、効率的な実施のため情報交換が積極的に行われた。 また、本研究開発において、予算要求段階、公募実施の前段階、提案された研究開発提案を採択する段階、研究開発の実施段階及び研究開発の終了後における、実施内容、実施体制及び予算額等について、外部専門家・外部有識者から構成される評価会において評価を行い、効率的に実施した。 よって、本研究開発には効率性があったと認められる。
有効性	スペクトラム測定系構築技術、高精度フィルタ技術及び広帯域変調解析技術を確立し、高出力半導体アンプ、スペクトラム測定系のレベル値付け、スプリアス特性評価、歪特性評価に用いる信号源を実現し、140GHz から 300GHz 帯の広帯域無線信号を対象とした測定環境の構築方法、測定手法および解析技術を確立し、ミリ波・テラヘルツ波帯の通信の信号品質を定量的に評価可能な汎用測定器の実現に寄与することができた。これらにより、140GHz から 300GHz 帯までの未利用周波数帯の無線信号を定量的に評価することが可能となり、汎用測定器の実用化や無線システムの周波数の移行に対応する技術基準策定等の促進などを実現した。 よって、本研究開発には有効性があったと認められる。
公平性	本研究開発の成果は、周波数帯のひっ迫解消のための未利用周波数帯の活用大きく寄与するものであることから、広く無線局免許人や無線通信の利用者の利益となる。また、本研究開発は、開示する基本計画に基づき広く提案公募を行い、提案者と利害関係を有しない複数の有識者により審査選定することから公平性が認められる。 よって、本研究開発には公平性があったと認められる。
優先性	今後急激に深刻化すると予想される移動体通信用周波数のひっ迫の解消のため、高速大容量の通信が可能な高い周波数帯への移行を促進し、数十 Gbps 級の伝送速度の実現が可能である 140GHz 超の周波数帯域で無線システムの導入を可能とするには、当該周波数帯無線信号の高精度測定の実現が必要不可欠である。本研究開発は、その課題を克服するものであり、よって、優先性があったと認められる。

5 政策評価の結果（総合評価）

通信システム間の干渉を避け、ミリ波・テラヘルツ波帯における電波の効率的な利用を実現するためには、厳密な技術基準の策定やその適合性確認のための試験方法の導入が必要であり、広帯域な無線通信の信号品質を、高精度かつ高効率に測定するための測定手法や測定環境、解析技術を確立することが不可欠である。本研究開発により、無線システムに使用される周波数資源のミリ波・テラヘルツ波帯への移行を促進するための基盤として、140GHz から 300GHz 帯の無線信号を高精度かつ高効率に測定するために必要な技術を実現することは、ワイヤレスシステムのミリ波・テラヘルツ波帯への

移行や周波数の有効利用を促進するとともに、我が国のワイヤレス分野における国際競争力強化に資する。

本研究開発においてスペクトラム測定系構築技術、高精度フィルタ技術及び広帯域変調解析技術を確立し、高出力半導体アンプ、スペクトラム測定系のレベル値付け、スプリアス特性評価、歪特性評価に用いる信号源を実現し、140GHz から 300GHz 帯の広帯域無線信号を対象とした測定環境の構築方法、測定手法および解析技術実現可能となるため、ミリ波・テラヘルツ波帯の通信の信号品質を定量的に評価可能な汎用測定器の実現に寄与しており、目標を達成することができた。

<今後の課題及び取組の方向性>

本研究開発で確立した技術の普及啓発活動と国際競争力強化のために、引き続き、市場動向にも留意しながら、ミリ波帯無線機器の2次高調波測定に関する技術や 300GHz 帯無線システムの測定技術、試験認証技術の標準化等に向けた活動に努め、実用化を目指す。

6 学識経験を有する者の知見の活用

「電波利用料による研究開発等の評価に関する会合」（令和元年8月28日）における終了評価において、目標の達成状況や得られた成果等、実施体制の妥当性及び経済的効率性、実用化等の目途等について外部評価を実施し、外部有識者から以下の御意見等を頂いたため、本研究開発の評価に活用した。

- ・ 測定系内で発生するスプリアスを市販のミリ波スペクトラムアナライザと同程度に抑えた 140GHz～315GHz スペクトラム測定系（イメージ抑圧比：30dB 以上）を実現した。また、高精度な時間波形測定に必要となるミキサの周波数特性測定を 300GHz 帯で実現し、この測定結果によって EVM 測定系の周波数特性を補償した変調解析技術（解析帯域幅：15GHz 以上、EVM：10%以下）により、EVM が改善することを確認した。要素技術としては高出力半導体アンプモジュール（1dB 利得抑圧点出力²⁷：+10dBm 以上@150GHz，+6dBm 以上@300GHz，3dB 帯域幅：20GHz 以上@150/300GHz²⁸）および 300GHz 帯までの可変フィルタあるいはフィルタバンクを実現した。査読付き論文誌や国際会議等に6件の論文を掲載しており、申請特許も11件ある。
- ・ 代表研究機関及び共同研究機関の実施体制は妥当であり、予算も効率的に使用されたと思われる。
- ・ 目標を一部上回る成果が出ており評価できる。なお、海外測定器メーカーの技術に対する優位性が得られたのかについて、確認が必要である。本来、こうした高周波の高度なアナログ技術は米国と十分に競争できるはずであり、テラヘルツ波の技術の早期立ち上げは国益の点からも重要である。今回所定またはそれ以上の成果が出ており、有益であったと判断できる。

7 評価に使用した資料等

○電波資源拡大のための研究開発の実施・電波利用料による研究開発等の評価に関する会合

<http://www.tele.soumu.go.jp/j/sys/fees/purpose/kenkyu/>

○電波有効利用の促進に関する検討会報告書（平成24年12月25日）

http://www.soumu.go.jp/main_content/000193002.pdf

²⁷ 理想的なアンプは入力電力に依存せずに一定の利得（増幅率）を持つが、現実には出力電力は有限であるから、入力電力を増やしていくと、出力電力は飽和し、利得が低下していく。入力電力が十分小さいときの利得（小信号利得）に対して利得が 1dB 低下するときの出力電力を 1dB 利得抑圧点出力と称する。

²⁸ 周波数によっても利得は変化し、周波数軸上で最大利得から - 3dB 以内の周波数範囲の幅を 3dB 帯域幅と称する。後半は 150GHz 帯、300GHz 帯について、それぞれ 20GHz 以上の意味。