

平成 28 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部基幹・衛星移動通信課
評価年月：平成 28 年 8 月

1 政策（研究開発名称）

90GHz 帯リニアセルによる高精度イメージング技術の研究開発

2 研究開発の概要等

（1）研究開発の概要

・実施期間

平成 24 年度～平成 27 年度（4 か年）

・実施主体

民間企業、国立研究開発法人、公益財団法人

・事業費

1,734 百万円

平成 24 年度	平成 25 年度	平成 26 年度	平成 27 年度	総 額
429 百万円	496 百万円	462 百万円	347 百万円	1,734 百万円

・概 要

空港、鉄道、原子力発電所などの重要インフラの可用性、安全性向上のため、数 cm 以下の測定精度と数 km 以上の線状あるいは面状の測定範囲を実現するリニアセルによるミリ波帯イメージング技術の開発を実施する。

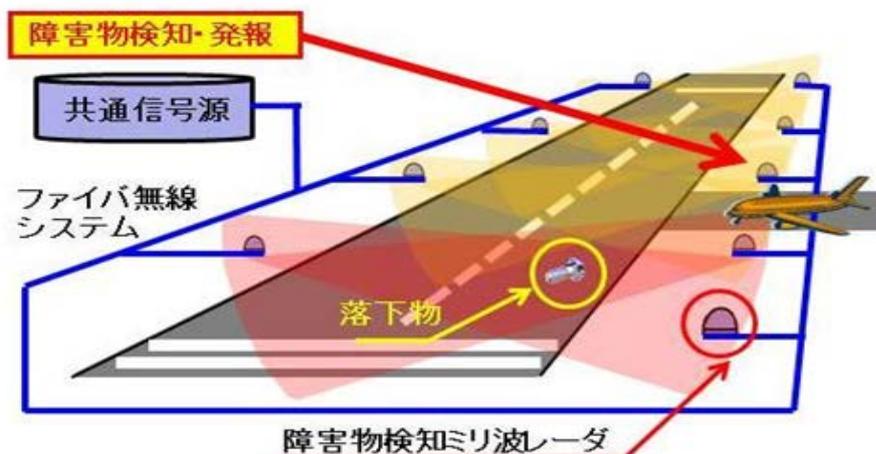
リニアセル技術は、光ファイバで無線信号を伝送するファイバ無線により一つの信号源から複数の送受信機にミリ波信号を供給し、ファイバに沿った線状の放射を実現するもの。当該技術は多数の送信機で信号源の共有が可能となるのが大きなメリットである。また、使用する 90GHz 帯は 50GHz を超える帯域では最も大気中伝搬損失が小さく、損失の変動も極めて少ないため、高精度イメージングに最も適した帯域といえるが、測定時間の短縮や測定精度の向上といった面で課題がある。

本研究開発では、我が国が得意とする 60GHz 帯向けミリ波帯電子デバイス・アンテナ技術、100Gbps 伝送光通信向け光ファイバ技術、さらに、光による近距離イメージングシステムで培われたレーダー信号処理技術を発展させ、融合し、これにリニアセル技術を適用することで、高いイメージング性能と不要輻射の抑圧を両立する技術の開発を以下のとおり実施する。

技術の種類	技術の概要
①電子的指向性可変機能を有する 90GHz 帯 RF 回路・アンテナ技術	90GHz 帯におけるアンテナの高利得化及び広角化のため、指向性可変機能を有するアンテナ技術（受動レンズ方式及び反射アレイ方式）、指向性可変アンテナ制御回路及び屋外での使用に耐える光送受素子・RF 素子一体型の耐環境・低コストモジュールを開発する。
②広帯域変調ファイバ無線・光/ミリ波変換技術システム技術	90GHz 帯において電子デバイスを用いた信号発生及び低コスト配信を実現するため、光変調通倍を用いた高安定広帯域 FM 信号発生技術、ファイバ無線技術を用いた低コストかつ高精度 FM 信号源の配信技術及び光波長多重等による複数セルの同時動作及び高速切替技術を開発する。
③リニアセル方式に適した高精度イメージング技術	①及び②で開発した技術を早期に実用化するため、空港及び鉄道を対象に実運用に近い環境における実証実験を実施するとともに、電波天文などとの共存実現のための不要発射抑圧に関する検証、ITU-R 等での国際標準化活動の推進及び空港、鉄道、原子力発電所などの幅広い監視対象に適したシステム設計手法の開発を行う。

・研究開発概要図

○滑走路監視のシステムイメージ



○研究開発における性能機能への要求と要素



(2) 達成目標

空港、鉄道、原子力発電所などの重要インフラの可用性、安全性向上のためのイメージングシステムを実現するため、電子的指向性可変機能を有する 90GHz 帯 RF 回路・アンテナ技術、広帯域変調ファイバ無線・光/ミリ波変換技術システム技術、リニアセル方式に適した高精度イメージング技術（滑走路の障害物検知を想定した測定範囲 3000m×60m 以上、精度 3cm 以下、測定時間 10 秒以下の高速・高精度イメージングを実現）を確立するとともに、90GHz 帯を有用な電波資源として開発し、その利用を拡大することで 80GHz 以下の帯域の周波数ひっ迫を緩和し、周波数の有効利用の一層の向上に資することを目標とする。

また、実運用中の拠点空港において実証実験を行うとともに、開発するイメージングシステムの応用展開として、空港以外の鉄道や重要施設(原子力発電所などの重要インフラ)の安全監視、介護・見守りなどのヘルスケアへの応用や、リニアセルによる高速データ通信への適用も検討する。

○関連する主要な政策

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」

○閣議決定等の上位計画・全体計画等

・電波政策 2020 懇談会報告書（平成 28 年 7 月）

第 2 章 2020 年の社会を支えるワイヤレスサービスの推進

2. ワイヤレスビジネスの成長・海外展開に向けた検討

(3) 今後に向けた提言

④6 つの重点取組分野の実現目標と課題解決に向けた取組

(イ) リニアセル・センサーネットワーク

a) 2020 年までに実現すること

- ・ 数 cm の異物が検知できるシステムを開発し、国内外の主要空港での実装を図る。
- ・ 不審ドローンや侵入者検知が可能となるシステムを開発し、2020 年東京オリンピック・パラリンピックの競技大会の際にショーケースとして重要拠点等への展開を図る。

・航空産業ビジョン（平成 27 年 12 月 内閣官房）

第 2 部方向性と施策

5. 研究開発・技術開発

⑤次世代航空交通システムに係る研究開発

世界的な航空交通需要の増加への対応や、より安全かつ効率的な運航の実現のため、航空機位置の高精度な把握、空港周辺空域での異物検知や情報共有化等に資する次世代航空交通システムの研究開発・技術開発を推進する。

・新成長戦略（平成 22 年 6 月 閣議決定）

別表 成長戦略実行計画（工程表）「V 科学・技術・情報通信立国戦略 ～IT立国・日本～」

②」において、「ホワイトスペースなど新たな電波の有効利用」等により、「情報通信技術の徹底的な利活用による新市場の創出（約 70 兆円の関連新市場の創出を目指す）」旨を記載。

・新たな情報通信技術戦略（平成 22 年 5 月 11 日 高度情報通信ネットワーク社会推進戦略本部）

III. 分野別戦略

3. 新市場の創出と国際展開

(2)我が国が強みを持つ情報通信技術関連の研究開発等の推進

【重点施策】

我が国が強みを持つ情報通信技術関連の研究開発を重点的に推進し、早期の市場投入を目指す。

【具体的取組】

今後、世界的な成長が期待され、我が国が強みを有する技術分野（新世代・光ネットワーク、次世代ワイヤレス、（中略）等）を特定して集中的に研究開発を行う（以下、略）

・電波政策懇談会報告書（平成 21 年 7 月）

第 5 章 2010 年代に実現される電波利用システムによる社会的・経済的効果

5-1 2010 年代の新たな電波利用システムの実現による社会的効果

5-1-1 様々な社会分野への電波利用システムの活用

(5) 災害分野への活用

電波政策懇談会報告書の上記の項には、災害に強い国づくりを目的に、災害による被害の発生を防止、軽減するために電波利用システムをアプリケーションとして活用していくことが挙げられている。

(3) 目標の達成状況

4 年間にわたり、以下のとおり、各要素技術の研究開発を行ったことで、各要素技術について以下のとおり目標を高いレベルで確立し、本研究開発で確立された技術を活用した監視システムを設置することで異物・落下物による重大事故の防止や除去作業の時間短縮による運行遅延の減少等に資することが可能となることから、空港、鉄道等の幅広い分野での重要インフラの可用性、安全性向上のためのイメージングシステムを実現した。また、これにより 90GHz 帯を有用な電波資源として開発するとともにその利用を拡大し、80GHz 以下の帯域の周波数ひっ迫を緩和することを可能と

することで周波数の有効利用の一層の向上に資することができた。

さらに、開発したイメージング技術の応用展開として鉄道線路内の障害物監視システムのプロトタイプシステムを構築し、200m 遠方から鉄道線路内への人の侵入や障害物を検出する鉄道線路内の障害物監視技術を実現した。さらに、実証実験を行った空港・鉄道以外の重要施設（原子力発電所等の重要インフラ）での安全監視、介護・見守り等のヘルスケアへの応用に関しても有識者と議論を行い可能性の検討を実施するとともに、リニアセルによる高速データ通信への適用に関しては、平成 26 年度から別課題「ミリ波帯による高速移動用バックホール技術の研究開発」で検討を開始した。

技術の種類	目標の達成状況
①電子的指向性可変機能を有する 90GHz 帯 RF 回路・アンテナ技術	(1)90GHz 帯送受信 MMIC 及び実装技術 60GHz 帯などで実用化が進む MMIC（モノリシックマイクロ波集積回路）技術を高周波化し、化合物半導体量産デバイスとしては動作周波数の上限に近い 90GHz 帯に対応させるとともに、光変換部やアンテナとの実装技術を開発し実環境での利用に適した RoF レーダー用の RF モジュールを実現した。
	(2)指向性可変アンテナ技術（ロトマンレンズ型） 90GHz 帯においては、低周波数帯で開発されているような電子的に指向性を制御する技術が確立できていないため、量産性に優れ、早い走査速度の期待できる電子的指向性可変機能を有するアンテナ技術としてロトマンレンズ型指向性可変アンテナ技術を検討し、4 台のアロトマンレンズアンテナを 1 台毎に角度を付けて接続し多面ロトマンレンズアンテナ全体で 16 度の走査範囲のビーム形成を実現した。
	(3)指向性可変アンテナ技術（リフレクトアレイ型） リフレクトアレイアンテナの原理検証を実施するとともに、電子的にビームパターンを制御し半値幅 1.2 度の鋭いビームを形成できることを示した。
②広帯域変調ファイバ無線・光/ミリ波変換技術システム技術	(1)高安定広帯域 FM 信号発生技術 高速・高安定な FM-CW レーダー信号発生とその光ファイバ網伝送の実現のため、光変調技術を利用した周波数通倍技術の原理減少とプロトタイプ試作及びプロトタイプによる成田国際空港実証実験を行い、掃引速度が 8×10^{15} Hz/s と超高速な FM 信号生成が可能であること、また、十分に高品質な光通倍が実現可能であることを示した。
	(2)高速セル切り替え技術 新たに設計・試作したフレキシブル波長チャネル選択装置を利用することで、お互いの不要成分の抑圧が可能となり得られたビット誤り率からも十分にエラーフリー伝送が可能であることを示した。
	(3)ミリ波帯光＝電気相互変換技術 -10dB 程度の小さな光信号に対して十分な RF 出力特性を得るため「光増幅器を用いた光検出器集積モジュール」及び「RF 増幅器を用いた光検出器集積モジュール」の開発を行った。
③リニアセル方式に適した高精度イメージング技術	(1)滑走路監視システム 滑走路上の異物を 10 秒以内に探知可能なレーダーシステムの要素技術開発を行い、広帯域型路面装置を使用した場合には 1.85cm の理論距離分解能となり、約 20m 先に設置した距離が 4cm 異なる 2 つの基準反射機を明瞭に分別できることを示した。
	(2)鉄道線路監視システム 90GHz 帯ミリ波と RoF 技術を組み合わせたレーダーによる鉄道線路内の障害物監視システムのプロトタイプシステムを構築し、鉄道総合研究所内試験線において実証実験を行った結果、約 200m 遠方から周囲に反射物が多数存在する線路内への人の侵入や移動、障害物となる非金属素材を検出可能であることを示した。
	(3)統合システム及び信号処理技術 ファイバ無線技術をベースとした線上に長く伸びるセル（リニアセル）を用いて、92-100GHz 帯において空間域・周波数域・時間域の全てで高度に輻射を制御し、電波天文などの他業務との周波数共用を可能としつつ、滑走路の障害物検知を想定した測定範囲 3000m×60m 以上、精度 3 cm 以下、測定時間 10 秒以下の高速・高精度イメージングを実現する基盤技術を開発し成田空港及び鉄道総合研究所内試験線で実証実験を実施した。

3 政策効果の把握の手法及び政策評価の観点・分析等

研究開発の評価については、各要素技術における目標の達成状況、論文数や特許出願件数などの指標が用いられ、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。

上述の観点に基づき、「電波利用料による研究開発等の評価に関する会合」（平成28年6月28日）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。

○研究開発による特許・論文・研究発表・国際標準の実績

研究開発による特許・論文・研究発表・国際標準の実績は、FOD（異物破片）検知システム用のMASPS（航空用システム性能として満たすべき仕様）がEuroCAEより発行されるなど、研究開発のみならずその成果の展開に向けた活動も積極的に行っており、本研究開発の必要性、有効性等が認められた。

主な指標	平成24年度	平成25年度	平成26年度	平成27年度	合計
査読付き誌上发表論文数	0件(0件)	2件(2件)	4件(4件)	5件(4件)	11件(10件)
査読付き口頭発表論文数 (印刷物を含む)	1件(1件)	19件(19件)	31件(30件)	31件(30件)	82件(81件)
その他の誌上发表数	0件(0件)	0件(0件)	5件(1件)	2件(0件)	7件(1件)
口頭発表数	4件(0件)	15件(0件)	21件(9件)	22件(8件)	62件(17件)
特許出願数	0件(0件)	4件(0件)	4件(0件)	9件(0件)	17件(0件)
特許取得数	0件(0件)	0件(0件)	0件(0件)	0件(0件)	0件(0件)
国際標準提案数	3件(3件)	2件(2件)	0件(0件)	0件(0件)	5件(5件)
国際標準獲得数	1件(1件)	0件(0件)	1件(1件)	0件(0件)	2件(2件)
受賞数	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)	0件(0件)	0件(0件)	0件(0件)	0件(0件)
報道掲載数	0件(0件)	0件(0件)	0件(0件)	0件(0件)	0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：「査読付き誌上发表論文数」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：「その他の誌上发表数」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	空港、鉄道、原子力発電所などの重要インフラの可用性、安全性向上のためには高精度でかつ広範囲を短い探査時間でカバーするイメージングシステムを早期に実現することが必要不可欠である。

	<p>また、「新たな情報通信技術戦略」（平成 22 年 5 月）においても、我が国が強みを持つ情報通信技術関連の研究開発を重点的に推進していくことが重点施策として掲げられるとともに、「電波政策懇談会報告書」（平成 21 年 7 月）において、災害に強い国づくりを目的に、災害による被害の発生を防止、軽減するために電波利用システムをアプリケーションとして活用していくことが記載されており、こうした政府方針の内容を確実に遂行するために、平成 24 年度から国が先導的に取り組む必要があった。</p> <p>また、諸外国においては、所要性能には満たないものの滑走路監視レーダーの開発が進んでおり、我が国の国際競争力の確保・強化、安全なインフラ提供、競争力の高い電波利用技術の新開拓の観点からも必要性があったと認められる。</p> <p>よって、本研究開発には必要性があったと認められる。</p>
効率性	<p>本研究開発の実施にあたっては、受託機関の研究代表者・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・共有されるとともに、外部の学識経験者、有識者等を含んだ研究開発運営委員会を設置し、関連する要素技術間の調整、成果の取りまとめ方、研究開発全体の方針や進め方について指導を受けるなど、外部専門家の専門知識やノウハウ等の活用や効率的な研究開発の実施のための情報交換が積極的に行われた。</p> <p>また、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。</p> <p>よって、本研究開発には効率性があったと認められる。</p>
有効性	<p>本研究開発により、電子的指向性可変機能を有する 90GHz 帯 RF 回路・アンテナ技術、広帯域変調ファイバ無線・光/ミリ波変換技術システム技術、リニアセル方式に適した高精度イメージング技術（滑走路の障害物検知を想定した測定範囲 3000m×60m 以上、精度 3 cm 以下、測定時間 10 秒以下の高速・高精度イメージングを実現）を確立したことにより、本研究開発で確立された技術を活用した監視システムを設置することで異物・落下物による重大事故の防止や除去作業の時間短縮による運行遅延の減少等に資すること、また、ほとんど利用が進んでいない 90GHz 帯を有効活用する技術を開発することで 80GHz 以下の帯域の周波数ひっ迫を緩和することが可能となり、空港、鉄道、原子力発電所などの重要インフラの可用性、安全性向上のためのイメージングシステムが実現されるとともに、周波数の有効利用の一層の向上に資することができた。</p> <p>よって、本研究開発には有効性があったと認められる。</p>
公平性	<p>本研究開発は、空港、鉄道、原子力発電所などの重要インフラの可用性、安全性向上の確保に繋がるイメージングシステムを実現するものであり、本研究開発の成果は、広く国民の利益になるものである。また、低い周波数に比べて利用が進んでいない 90GHz 帯を有用な電波資源として開発しその利用を拡大するものであることに加え、研究開発成果の要素技術は 60GHz 帯等のより低い周波数帯からの移行を促進する効果を期待できるものであり 80GHz 以下の帯域の周波数ひっ迫を緩和させることが可能になることから、広く無線局免許人や無線通信の利用者全体の利益となる。</p> <p>なお、本研究開発の実施にあたっては、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・選定を行っている。</p> <p>よって、本研究開発には公平性があったと認められる。</p>
優先性	<p>これまで国内の空港では 3 cm 程度の落下物による重大事故の可能性が潜在的に存在している状態が続いており、一方海外では所要性能には満たないものの滑走路監視レーダーの開発が進んでいることから、国としての安全なインフラ提供、競争力の高い電波利用技術の新開拓の両面から、イメージングシステムを早期に実現することが必要不可欠である。</p> <p>また、「新たな情報通信技術戦略」（平成 22 年 5 月）、「電波政策懇談会報告書」（平成 21 年 7 月）等において、災害に強い国づくりを目的に、災害による被害の発生を防止、軽減するために電波利用システムをアプリケーションとして活用していくことが記載されていることから、移動体通信における高度な周波数有効利用技術を確立するとともに、航空機等のインフラにおける災害を防止する本研究開発は優先的に実施していく必要がある。</p> <p>よって、本研究開発には優先性があったと認められる。</p>

4 政策評価の結果（総合評価）

本研究開発により、電子的指向性可変機能を有する 90GHz 帯 RF 回路・アンテナ技術、広帯域変調

ファイバ無線・光/ミリ波変換技術システム技術、リニアセル方式に適した高精度イメージング技術（滑走路の障害物検知を想定した測定範囲 3000m×60m 以上、精度 3 cm 以下、測定時間 10 秒以下の高速・高精度イメージングを実現）を確立したことにより、本研究開発で確立された技術を活用した監視システムを設置することで異物・落下物による重大事故の防止や除去作業の時間短縮による運行遅延の減少等に資すること、また、ほとんど利用が進んでいない 90GHz 帯を有効活用する技術を開発することで 80GHz 以下の帯域の周波数逼迫を緩和することが可能となり、空港、鉄道、原子力発電所などの重要インフラの可用性、安全性向上のためのイメージングシステムが実現されるとともに、周波数の有効利用の一層の向上に資することができ、目標が達成された。特に、本研究開発で確立した精度 3 cm 以下の分解能、測定時間 10 秒以下の検知速度は世界最先端の性能であり、国際競争力の高い電波利用技術の新規開拓を実現した。

これらのことから、本研究開発の有効性、効率性等が認められた。

<今後の課題及び取組の方向性>

2016 年 7 月に取りまとめられた「電波政策 2020 懇談会 報告書」においてもリニアセルセンサーネットワークの国内におけるサービスの実用化及び海外におけるシステムの展開を図る旨が記載されていることから、実運用に向けて本研究開発の成果をさらなる改良を図るとともに、今後も国際標準化活動及び本研究開発において、研究成果の早期の実用化に向けた取組等を実施することにより、2020 年頃の国内でのシステム導入をめざしつつ本研究開発の展開を図る。

5 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」（平成 28 年 6 月 28 日）において外部評価を実施し、外部有識者から以下のご意見をいただいております。本研究開発の目標が十分達成されていることが確認された。

- ・ 鉄道線路内の障害物監視システムの基本機能を確認したこと、羽田空港での実証実験を行ったこと、特許も多数取得したことなど実用化に向けた目標は達成したと言える。
- ・ 計画した到達目標を十分に実現しており、大いに評価できる。
- ・ 航空、鉄道など幅広い分野での実用化が期待できる。
- ・ 総合的な実証実験により実用性まで検証しており、実用化への見通しが得られ、高く評価できる。
- ・ 高精度の分解能と広範囲の検出領域を両立した成果は有益であったと考えられる。

6 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
<http://www.tele.soumu.go.jp/j/sys/fees/purpose/kenkyu/index.htm>
- 電波政策2020懇談会報告書（平成28年7月 総務省）
http://www.soumu.go.jp/main_content/000430220.pdf
- 航空産業ビジョン（平成27年12月 内閣官房 基幹産業化に向けた航空ビジネス戦略に関する関係省庁会議）
http://www.cas.go.jp/jp/seisaku/koku_business/pdf/vision.pdf
- 新成長戦略（平成22年6月 閣議決定）
<http://www.kantei.go.jp/jp/sinseichousenryaku/sinseichou01.pdf>
- 新たな情報通信技術戦略（平成22年5月11日 高度情報通信ネットワーク社会推進戦略本部）
<http://www.kantei.go.jp/jp/singi/it2/100511honbun.pdf>
- 電波政策懇談会報告書（平成21年7月 総務省）
http://www.soumu.go.jp/main_content/000030532.pdf