

Title	非直交多元接続を用いたヘテロジニアスネットワークのスループット特性
Sub Title	Throughput performance of non-orthogonal multiple access with joint maximum likelihood detection in heterogeneous network
Author	眞田, 幸俊(Sanada, Yukitoshi)
Publisher	
Publication year	2019
Jtitle	科学研究費補助金研究成果報告書 (2018. )
JaLC DOI	
Abstract	<p>本研究ではヘテロジニアスネットワークにおける非直交多元接続を検討し、それに適した他端末用信号除去処理方式を提案した。研究は計算機シミュレーションおよび有線結合での高周波信号を使った実験により行った。マクロユーザおよびピコユーザ希望信号とともに他のユーザの信号を統合復調により除去することを検討した。計算機シミュレーションの結果累積確率0.5においてシステムスループットはユーザ当たり約0.2 bit/subcarrier改善した。また実験によっても統合復調の効果を確認した。その結果実験とシミュレーション両方ともほぼ同等の復調特性を示した。また統合復調を用いた方式は最良の特性を示した。</p> <p>In this research the throughput performance of a non-orthogonal multiple access heterogeneous network with joint etection is evaluated through computer simulation as well as experiments. In the assumed system, a macro user terminal and a pico user terminal are assumed to be capable of applying joint detection to both desired and interference signals. Numerical results obtained through computer simulation have shown that the joint detection improves system throughput by about 0.2 bit/subcarrier/user at a cumulative probability of 0.5. The numerical results obtained through experiments have also shown the same tendency as those obtained through computer simulation.</p> <p>Also the joint detection achieves the best bit error rate as compared to the other schemes.</p>
Notes	<p>研究種目：基盤研究 (C) (一般)</p> <p>研究期間：2016～2018</p> <p>課題番号：16K06366</p> <p>研究分野：無線通信</p>
Genre	Research Paper
URL	<a href="https://koara.lib.keio.ac.jp/xoonips/modules/xoonips/detail.php?koara_id=KAKEN_16K06366seika">https://koara.lib.keio.ac.jp/xoonips/modules/xoonips/detail.php?koara_id=KAKEN_16K06366seika</a>

慶應義塾大学学術情報リポジトリ(KOARA)に掲載されているコンテンツの著作権は、それぞれの著作者、学会または出版社/発行者に帰属し、その権利は著作権法によって保護されています。引用にあたっては、著作権法を遵守してご利用ください。

The copyrights of content available on the Keio Associated Repository of Academic resources (KOARA) belong to the respective authors, academic societies, or publishers/issuers, and these rights are protected by the Japanese Copyright Act. When quoting the content, please follow the Japanese copyright act.

令和 元年 5 月 29 日現在

機関番号：32612

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2016～2018

課題番号：16K06366

研究課題名（和文）非直交多元接続を用いたヘテロジニアスネットワークのスループット特性

研究課題名（英文）Throughput Performance of Non-Orthogonal Multiple Access with Joint Maximum Likelihood Detection in Heterogeneous Network

研究代表者

眞田 幸俊（Sanada, Yukitoshi）

慶應義塾大学・理工学部（矢上）・教授

研究者番号：90293042

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,700,000 円

研究成果の概要（和文）：本研究ではヘテロジニアスネットワークにおける非直交多元接続を検討し、それに適した他端末用信号除去処理方式を提案した。研究は計算機シミュレーションおよび有線結合での高周波信号を使った実験により行った。マクロユーザおよびピコユーザ希望信号とともに他のユーザの信号を統合復調により除去することを検討した。計算機シミュレーションの結果累積確率0.5においてシステムスループットはユーザ当たり約0.2 bit/subcarrier改善した。また実験によっても統合復調の効果を確認した。その結果実験とシミュレーション両方ともほぼ同等の復調特性を示した。また統合復調を用いた方式は最良の特性を示した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究成果はヘテロジニアスネットワーク型セルラシステムだけでなく、隣接基地局間の干渉の影響がシステムスループットを制限する第5世代移動通信（5G）システムにおいても適用されうる。特に分散アンテナ型5Gシステムにおいては分散基地局が連携してユーザ端末を収容する。送信側の干渉制御だけでなく、本研究の受信側干渉除去を取り入れることにより、システムスループットを改善することが見込まれる。

研究成果の概要（英文）：In this research the throughput performance of a non-orthogonal multiple access heterogeneous network with joint detection is evaluated through computer simulation as well as experiments. In the assumed system, a macro user terminal and a pico user terminal are assumed to be capable of applying joint detection to both desired and interference signals. Numerical results obtained through computer simulation have shown that the joint detection improves system throughput by about 0.2 bit/subcarrier/user at a cumulative probability of 0.5. The numerical results obtained through experiments have also shown the same tendency as those obtained through computer simulation. Also the joint detection achieves the best bit error rate as compared to the other schemes.

研究分野：無線通信

キーワード：NOMA 非直交多元接続 MIMO 統合復調 ヘテロジニアスネットワーク

様 式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、C K - 19（共通）

#### 1．研究開始当初の背景

近年スマートフォンの急激な普及や動画配信の一般化により，移動体通信システムのトラフィック量は毎年指数関数的に増加している．ITU-Rのレポートによれば今後10年間で500倍から1000倍に増加することが見込まれている．このようなモバイルデータトラフィックの増加への対策として，新しい周波数を移動通信用に割り当てる周波数スペクトルの拡張，ピコセルやマクロセルと呼ばれる小型基地局によるネットワーク密度の改善，周波数利用効率の改善が検討されている．周波数利用効率改善法の一つとして非直交多元接続方式が検討されている．非直交多元接続で同一周波数に基地局から距離の異なる複数の端末を割り当てる．基地局は遠方端末には大きな送信信号電力で，近傍端末には小さな送信電力で送信する．近傍端末では遠方端末用の信号を除去し希望信号を取り出す．また遠方端末では近傍端末の信号が十分に減衰しているため，通常の受信処理を行う．これにより直交多元接続より1.3倍程度のシステム容量を実現できる．

#### 2．研究の目的

従来の研究においてはマクロセル構成のみの環境で非直交多元接続が検討されてきた．これは他端末用信号除去処理が受信レベルの大きな信号のみに有効であったためである．しかしながら第4世代移動通信システムにおいてもマクロセルおよびマイクロセルが共存するヘテロジニアスネットワークが想定されている．そこで本研究ではヘテロジニアスネットワークにおける非直交多元接続を検討し，それに適した他端末用信号除去処理方式を提案する．

#### 3．研究の方法

研究は計算機シミュレーションおよび有線結合での高周波信号を使った実験により行う．まず計算機シミュレーションによりヘテロジニアスネットワークをモデル化する．非直交多元接続信号の統合最尤復調による信号分離・復号特性をパラメタとして組み込み，システムレベルの特性を評価する．同時に信号発生器とソフトウェア無線プラットフォームを用いてリンクレベルの実験を行う．

図1は実験システムの構成である．マクロセル側の信号はMulti-Input Multi-Output(MIMO)を想定する．すなわち送信アンテナを仮定して高周波任意波形発生器（既存設備）2台を同期させながら2系統の高周波信号を出力する．マイクロセル側は1送信アンテナを想定し，高周波任意波形発生器（購入予定）を用いて信号を生成する．受信側は1アンテナで受信しダウンコンバータに入力する．ソフトウェア無線プラットフォームは高周波信号をベースバンド信号に変換し，アナログ-ディジタル(A/D)変換器によりデジタル信号化され，メモリ内に格納される．パーソナルコンピュータ内の汎用プロセッサがPCIバスを通じてソフトウェア無線プラットフォーム内のメモリにアクセスし，信号分離・復調処理をリアルタイムに実行する．計算機シミュレーションも図1と同様の構成をプログラムに実装し，評価する．

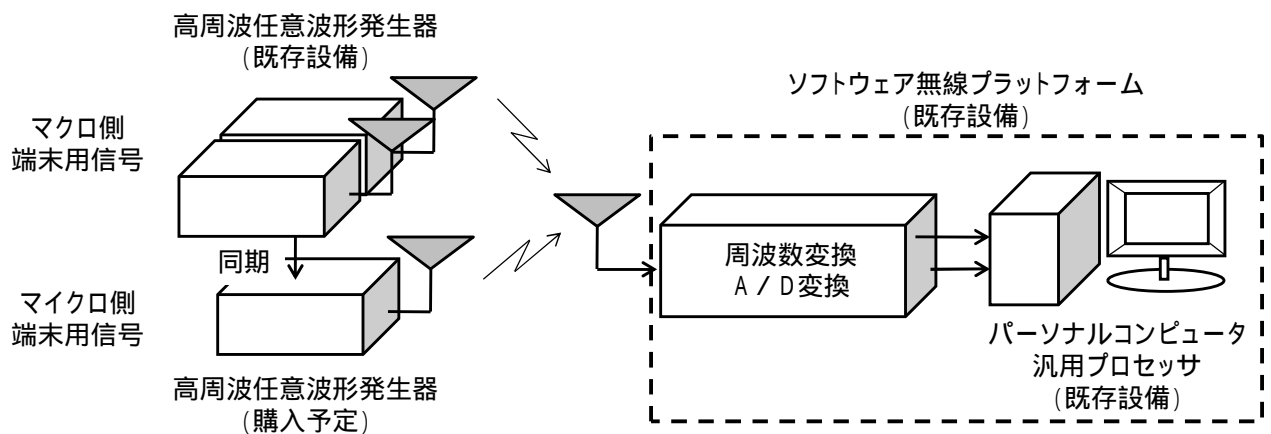


図1 実験システムの構成

#### 4．研究成果

図2のようなヘテロジニアスネットワークを想定する．マクロユーザおよびピコユーザ希望信号とともに他のユーザの信号を統合復調（Joint Detection）により除去する．図3に統合復調を用いた場合と用いない場合のシステムスループット特性を示す．マクロセルは3セクタにセクタ化され，各セクタに1つのピコ基地局が存在し，ピコ基地局はマクロセルからセル半径の2/3の位置し，各セクタのユーザ数は10と仮定している．またマクロセルからの送信電力は最大43dBm，ピコ基地局の送信電力は30dBmとする．図より統合復調によりシステムスループ

ットが増加することが明らかである．具体的には累積確率 0.5 においてシステムスループットはユーザ当たり約 0.2 bit/subcarrier 改善している．図 4 (a) にマクロ基地局のスループット，図 4 (b) にピコ基地局のスループットを示している．これらの図からピコ基地局では統合復調を用いないとマクロ基地局からの干渉によりスループットが制限されていることがわかる．統合復調を用いた場合にはマクロ基地局の低スループットユーザはピコ基地局にスイッチし，それらのユーザのスループットが改善する．つまり統合復調はマクロセルのトラフィックをオフロードする効果があり，非直交多元接続するヘテロジニアスネットワークにおいてシステムスループットを改善することができる．

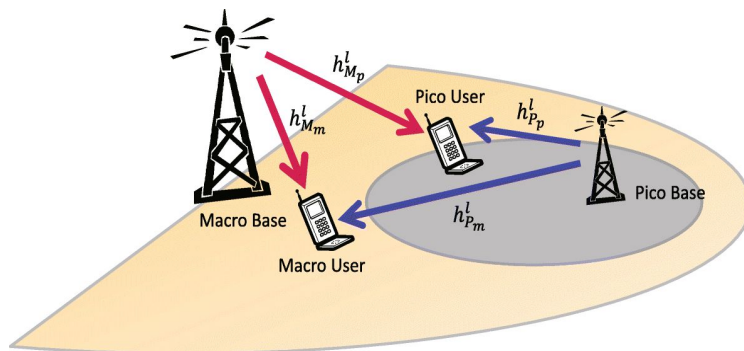


図2 ヘテロジニアスネットワークモデル

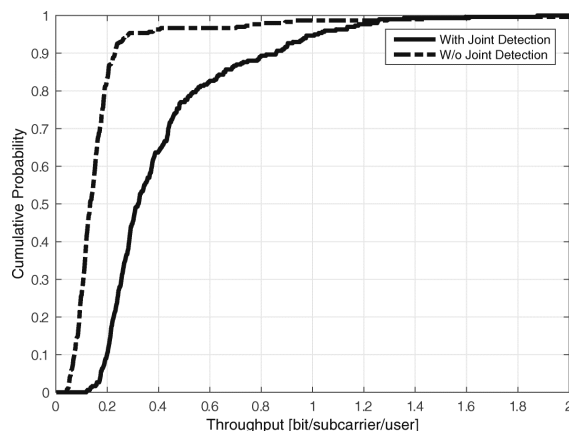
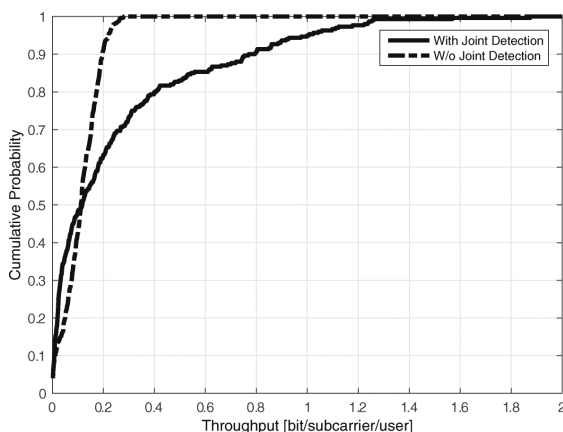
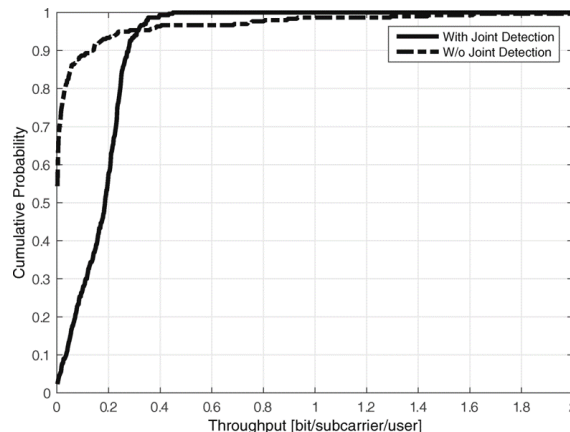


図3 システムスループット特性 (10 users/sector)



(a) マクロセルにおけるスループット特性



(b) ピコセルにおけるスループット特性

図4 システムスループット特性 (10 users/sector)

図5は提案方式を検証するための実験システムのブロック図である．マクロセルを想定した基地局と隣接ピコセルを想定した基地局から送信し，受信側ではそれらの信号を統合復調する．送信信号はいずれも QPSK 変調とする．図6にビット誤り率（BER）とビット当たりのエネルギー対雑音スペクトル密度（ $E_b/N_0$ ）の関係を示している．実線はシミュレーション結果，点線は実験結果である．Conventional ZF は統合復調を用いない場合，CoMP はチャネル応答を基地局側で既知と仮定し送信信号制御した場合，Joint MLD は統合復調を用いた場合，Proposed は計算量を削減するために干渉除去方式を組み合わせた方式であり，はそのパラメタである．それぞれの方式でスループットが一定になるよう誤り訂正符号の符号化率を調整している．また希望信号と干渉信号の電力比は6 dB である．図6より実験とシミュレーション両方ともほぼ同等の特性を示している．また統合復調を用いた方式は最良の特性を示し，簡易方式もパラメタにより統合復調に近い特性を示した．

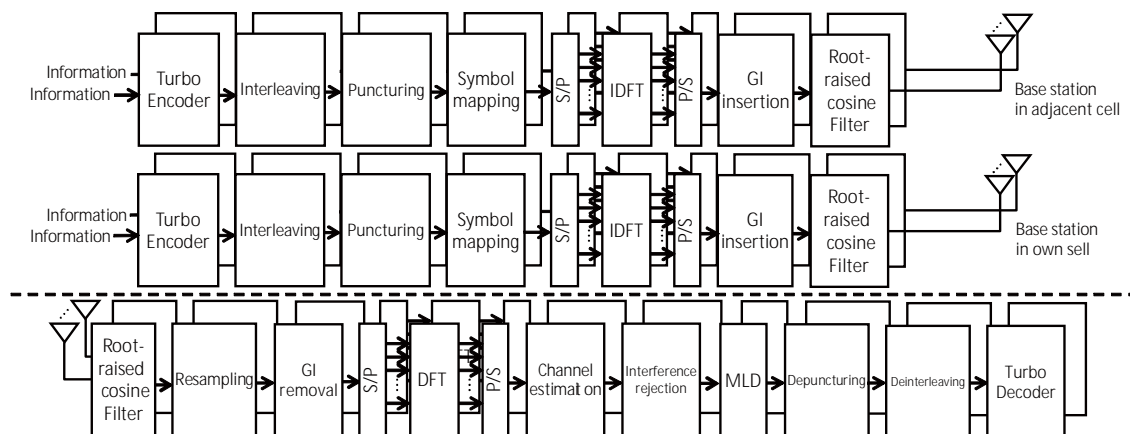


図5 実験システムのブロック図

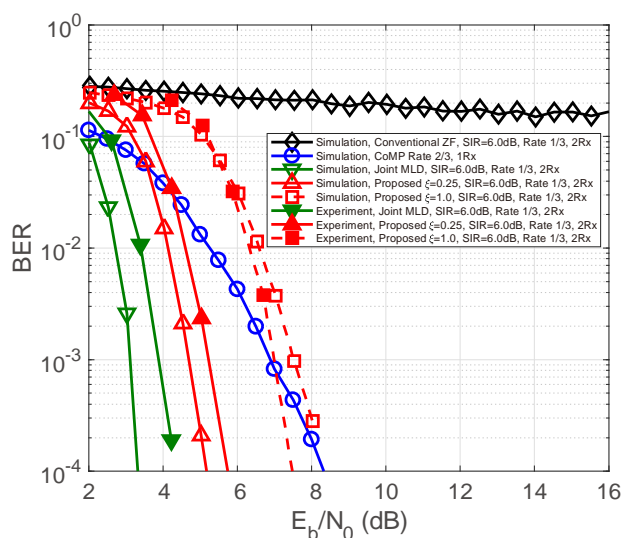


図6 BER対 $E_b/N_0$ 特性（SIR 6dB，希望信号および干渉信号はQPSK変調信号）

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計5件)

- Y. Kubo and Y. Sanada, "Transmit Beam Selection Scheme for Massive MIMO using Expected Beam Responses," IEICE Trans. on Communications, 査読有り, vol. E102-B no. 4 pp. 913-920, April 2019.
- H. Ishikawa and Y. Sanada, "Effect of Joint Detection on System Throughput in Distributed Antenna Network," IEICE Trans. on Communications, 査読有り, vol. E102-B no. 3 pp. 641-647, March 2019.
- Y. Sanada, "Non-orthogonal Multiple Access with Joint Maximum Likelihood Detection in Heterogeneous Network," EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking, 査読有り, Dec. 2018.
- H. Miyagi and Y. Sanada, "Performance of MMSE Interference Rejection followed by Joint MLD for DAN," IEICE Trans. on Communications, 査読有り, vol. E101-B, no.12, pp. 2471-2478, Dec. 2018.

Y. Aoki, K. Matsugi, and Y. Sanada, "Low Complexity Log-Likelihood Ratio Calculation Scheme with Bit Shifts and Summations," IEICE Trans. on Communications, 査読有り, vol. E101-B, no. 3, pp. 731-739, March 2018.

〔学会発表〕(計 24 件)

1. 眞田幸俊, " [招待講演] マルコフ連鎖モンテカルロ法を用いた大規模 MIMO 信号検出, " 電子情報通信学会技術報告, RCS2018-201, 2018 年 11 月.
2. H. Ishikawa and Y. Sanada, "System Throughput Analysis on Using Joint Detection in Distributed Antenna System," IEEE 88th Vehicular Technology Conference 2018 Fall, Chicago, Aug. 2018.
3. Y. Kubo and Y. Sanada, "Correlation based Initial Transmit Beam Selection Scheme for Massive MIMO," IEEE Vehicular Technology Society Asia Pacific Wireless Communications Symposium 2018, Hsinchu, Aug. 2018.
4. D. Tamate and Y. Sanada, "Precoder Design Algorithm for Hybrid MIMO System with Discrete Phase Shifters and D/A Converters," IEEE 88th Vehicular Technology Conference 2018 Fall, Chicago, Aug. 2018.
5. 小林佑太郎, 眞田幸俊, "Gibbs サンプリングを用いた MIMO 検出のための分数に基づいたメトリック関数, " 電子情報通信学会技術報告, RCS2018-53, 2018 年 6 月.
6. 玉手大智, 眞田幸俊, "ハイブリッド MIMO システムにおける Gibbs サンプリングを利用したプリコード設計の検討, " 電子情報通信学会技術報告, RCS2018-54, 2018 年 6 月.
7. 久保慶仁, 眞田幸俊, "受信信号予測を用いた Massive MIMO 向け送信ビーム選択アルゴリズムの検討, " 電子情報通信学会技術報告, RCS2018-55, 2018 年 6 月.
8. T. Shiba and Y. Sanada, "Throughput Performance of Adaptive Frequency Offset Selection for Amplify-and-Forward Relay in Multiuser Environment," IEEE VTC 2018 Spring Workshop - Technology Trials and Proof-of-Concept Activities for 5G and Beyond 2018, Porto, June 2018.
9. Y. Sanada, "Complexity Reduction Schemes for Gibbs Sampling MIMO Detection with Maximum Ratio Combining," IEEE 87th Vehicular Technology Conference Spring, Porto, June 2018.
10. 石川晴也, 眞田幸俊, "分散アンテナネットワークにおける統合最尤復調のシステムスループットに対する効果, " 電子情報通信学会技術報告, RCS2017-318, 2018 年 3 月.
11. H. Miyagi and Y. Sanada, "MMSE Interference Rejection Followed by Joint Maximum Likelihood Detection for Distributed Antenna Network," The 23rd Asia-Pacific Conference on Communications, Perth, Dec. 2017.
12. T. Yukawa and Y. Sanada, "Offloading Effect of Heterogeneous Network with Non-orthogonal Multiple Access," The 23rd Asia-Pacific Conference on Communications, Perth, Dec. 2017.
13. 眞田幸俊, "適応ビームフォーミングを用いた混合 Gibbs サンプリング MIMO 受信方式の収束特性に関する検討, " 電子情報通信学会技術報告, RCS2017-266, 2017 年 12 月.
14. 眞田幸俊, "第 5 世代移動通信システムのアプリケーションとその主要技術, " 電子情報通信学会中国支部講演会, 2017 年 11 月.
15. 宮城裕一, 眞田幸俊, "分散アンテナ型ネットワークにおける MMSE 干渉除去を組み合わせた MLD 復調の特性評価, " 電子情報通信学会技術報告, RCS2017-172, 2017 年 10 月.
16. Y. Sanada, "Gibbs Sampling MIMO Detection with Maximum Ratio Combining," IEEE International Symposium on Personal, Indoor, and Mobile Radio Communications 2017, Montreal, Oct. 2017.
17. 眞田幸俊, "過負荷 MIMO 技術による多信号ストリーム受信, " 電子情報通信学会ソサイエティ大会, BS-2-3, 2017 年 9 月.
18. S. Lin and Y. Sanada, "Complexity Comparison of QRM-MLD and Gibbs Sampling MIMO Detection with MRC," 電子情報通信学会ソサイエティ大会, B-5-15, 2017 年 9 月.
19. 眞田幸俊, "適応ビームフォーミングを用いた Gibbs サンプリング MIMO 受信方式の計算量に関する検討, " 電子情報通信学会技術報告, RCS2017-143, 2017 年 8 月.
20. 眞田幸俊, " [フェロー記念講演] IoT に向けた過負荷 MIMO 技術, " 電子情報通信学会技術報告, SR2017-23, 2017 年 5 月.
21. Y. Sanada, "[Requested Talk] Joint ML Detection for Overloaded MIMO and Its Application to Non-orthogonal Multiple Access," SmartComm 2016, Oulu, May 2016.
22. 眞田幸俊, "ビームフォーミングを用いた Gibbs サンプリング MIMO 受信機, " 電子情報通信学会技術報告, RCS2017-28, 2017 年 4 月.
23. 眞田幸俊, "ビームフォーミングを用いた Gibbs サンプリング MIMO 受信機, " 電子情報通信学会総合大会, B-5-4, 2017 年 3 月.
24. 安藤健二, 眞田幸俊, "分散アンテナネットワークにおける統合復調の効果, " 電子情報通信学会総合大会, B-5-24, 2017 年 3 月.

〔図書〕(計 0件)

〔産業財産権〕

出願状況(計 0件)

名称：  
発明者：  
権利者：  
種類：  
番号：  
出願年：  
国内外の別：

取得状況(計 0件)

名称：  
発明者：  
権利者：  
種類：  
番号：  
取得年：  
国内外の別：

〔その他〕

ホームページ等

<http://www.snd.elec.keio.ac.jp/index.html>

## 6．研究組織

### (1)研究分担者

研究分担者氏名：

ローマ字氏名：

所属研究機関名：

部局名：

職名：

研究者番号(8桁)：

### (2)研究協力者

研究協力者氏名：

ローマ字氏名：

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。