

# 漏洩同軸ケーブルによる高密度配置リニアセル MIMO システムの研究開発 (135007001)

## Linear Cell MIMO System Using Leaky Coaxial Cables for High Density Cell Deployment

### 研究代表者

岡田 実 奈良先端科学技術大学院大学  
Minoru OKADA Nara Institute of Science and Technology

### 研究分担者

東野 武史<sup>†</sup> 熊谷 智明<sup>††</sup> 有吉 正行<sup>††</sup> 塚本 悟司<sup>††</sup> 侯 亜飛<sup>††</sup> 阿野 進<sup>††</sup>  
鈴木 文生<sup>†††</sup> 丹羽 敦彦<sup>†††</sup>

Takeshi HIGASHINO<sup>†</sup> Tomoaki KUMAGAI<sup>††</sup> Masayuki ARIYOSHI<sup>††</sup> Satoshi TSUKAMOTO<sup>††</sup>  
Yafei HOU<sup>††</sup> Susumu ANO<sup>††</sup> Fumio SUZUKI<sup>†††</sup> Atsuhiko NIWA<sup>†††</sup>

<sup>†</sup>奈良先端科学技術大学院大学 <sup>††</sup>株式会社 国際電気通信基礎技術研究所 <sup>†††</sup>株式会社 フジクラ  
<sup>†</sup>Nara Institute of Science and Technology

<sup>††</sup>Advanced Telecommunications Research Institute International <sup>†††</sup>Fujikura Ltd.

研究期間 平成 25 年度～平成 26 年度

### 概要

リニアセルの実現手段として漏洩同軸ケーブル (LCX) を用い、その高機能化と空間多重度を向上させる研究開発を行うことにより、1本のケーブルで4×4のMIMOを可能とする基本技術 (LCX-MIMO) を確立する。そのための要素技術として、MIMOに適したLCXの設計・製造技術、LCX-MIMOの構成方法及び空間多重度向上技術、リニアセル間のハンドオーバーのためのセル内位置検出法を開発した。反射波が無くMIMOの性能劣化が著しい電波暗室内で評価を実施し、従来のオムニアンテナ4本を用いたMIMOに比べて3倍の平均スループットを達成した。

### 1. まえがき

近年の移動通信データトラフィック量の急激な増大が問題となっており、特に駅や地下街など人口が集中する場所では、周波数利用効率の改善によって急増するデータトラフィックを収容可能とすることが急務である。

近年の移動通信システムでは、周波数利用効率向上技術として、複数のアンテナを用いて空間多重度を高める技術であるMIMO (Multiple Input Multiple Output)、およびセルの高密度配置が用いられているが、駅や地下街では、空間相関やセル間干渉の増加のためMIMOや高密度セル配置による効果が十分に得られないという問題がある。

そこで、筆者らはこの課題を解決するために、漏洩同軸ケーブル (LCX: Leaky Coaxial cable) を用いた高密度配置リニアセルの利用を提案した。LCXは同軸ケーブルのシールド導体に数多くの放射スロットを配置することで、線状配置された多数のアンテナとして作用し、ケーブル全線にわたってその近傍だけを通信エリアにできる。そのため、基地局に無指向性アンテナを用いた場合と比べて他セルへのオーバーリーチによる干渉の低減が可能となり、高密度なセル配置による周波数利用効率向上が期待できる。

そして、本研究開発ではMIMOに適したLCXの構成方法及び給電方法を検討し、従来のLCX1本で2×2MIMOを、また新たに開発する高機能型LCXで4×4MIMOを実現する。これにより、高密度都市環境における周波数利用効率の改善と通信の信頼性向上を目指した。

### 2. 研究開発内容及び成果

本研究開発では、図1に示すようア～エの課題について検討を行った。そのそれぞれについて以下に概要を示す。

【課題ア】「高密度配置リニアセル MIMO による空間多重度向上の研究」では、LCXを用いたMIMOの基本特性を明らかにするため、電波暗室内に異なる放射角を持つ2本のLCXを配置し、MIMO性能を評価する指標である

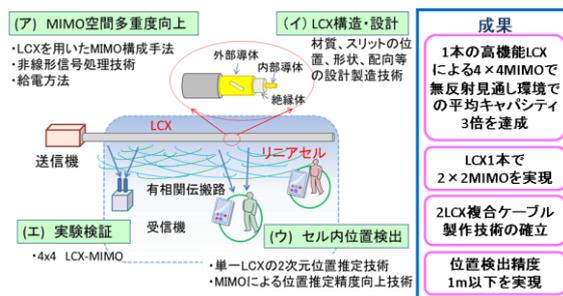


図1 研究開発の概要

Condition Number (CN)を測定した。その結果、通信エリアであるLCXの両端から1m以上内側の場所では、MIMO性能が低下しやすい見通し状態でも常にCNが1桁台であり、4×4MIMOの動作が可能であることを確認した。

【課題イ】「MIMOに適したLCX構造に関する研究開発」LCXの放射角について課題アと連携して最適化を行い、MIMO性能の評価を行った。その結果、4×4MIMOでの性能を向上には放射角度-18°と-55°の組合せが適当であることを明らかにし、この2本を複合した高機能型LCXの試作を行った。図2に示す試作品の評価を行い、所望の結合損失および特性が得られることを確認した。

【課題ウ】「LCXによるリニアセル内位置検出に関する研究」では、2組のLCXを用いて端末からのパイロット信号から周波数特性を測定し、Multiple signal classification (MUSIC)により信号処理を行う手法を提案した。評価実験の結果、長手方向、奥行方向ともに、誤差1m以内で端末の位置推定ができることを明らかにした。



図2 試作した高機能型LCX

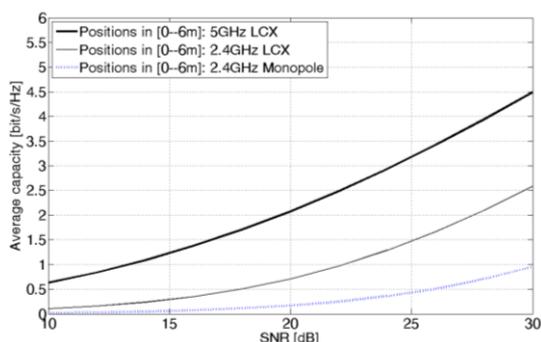


図3 LCX-MIMO の SNR 対平均キャパシティ

【課題エ】「LCX によるリニアセル MIMO の実験検証」では、課題ア、イの成果を結集し、電波暗室内に設置した 4×4 LCX-MIMO と 4 素子オムニアンテナによる MIMO の平均キャパシティの比較を行った。図 3 にその比較結果を示す。反射波が無い場合 MIMO 性能の低下が著しいオムニアンテナでは SNR=25dB で 0.5bit/s/Hz 程度であるが、LCX-MIMO では、悪条件にもかかわらず約 1.5bit/s/Hz と 3 倍の平均キャパシティ、すなわち同一帯域幅あたりの平均スループットを達成している。

さらに、市販品を用いた実環境での実験をオフィスの廊下に LCX-MIMO を設置し行った結果、図 4 のとおり安定して 2×2 MIMO のスループットが得られることが確認できた。

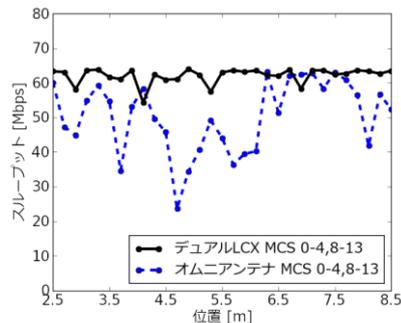


図4 実環境での 2×2 MIMO スループット

### 3. 今後の研究開発成果の展開及び波及効果創出への取り組み

MIMO に適した LCX ケーブルの開発成功により、無線 LAN アクセスポイントとの組み合わせによる技術基準適合証明を得るだけで本技術が利用可能となった。本研究開発の速やかな実用化が見込まれる。今後は、MIMO の効果をより一層高めるべく、敷設技術についての検討を行う。また、本技術による位置検出は、当初目的のセル間ハンドオーバーを容易にするためだけに止まらず、室内における端末位置検出など、様々な応用が可能である。引き続き携帯アプリケーションなどの研究者、開発者とも連携して、新たな応用についての検討を行う。同時に、この技術の実用化にあたっては、LSI 実装が必要となり、特に MUSIC 法の実装には、演算量の削減などの工夫が必要であるため、実装に関する検討を行う。

### 4. むすび

本研究開発により、単一 LCX で 2×2、高機能型 LCX 1 本で 4×4 の MIMO システムを実現し、反射波が無く MIMO 性能が劣化する電波暗室内で、オムニアンテナを用いた 4×4 MIMO に比べて平均スループット 3 倍以上を達成した。また、MIMO 伝搬路推定結果からの端末位置推定では、その位置検出精度 1m 以内を達成した。今後、実用化に向け必要な検討や成果展開を行なう予定である。

### 【誌上发表リスト】

- [1] Takeshi Higashino, Minoru Okada, Takahiro Maeda, Satoshi Tsukamoto, “Position Location using OFDM signal in LCX Linear Cell MIMO System”, Proceedings of the International Conference on Advances in Computer Science and Electronics Engineering (CSEE 2014) pp203-206 (2014 年 3 月 8 日)
- [2] Yafei Hou, Satoshi Tsukamoto, Masayuki Ariyoshi, Koyoshi Kobayashi and Minoru Okada, “2 by 2 MIMO system using single leaky coaxial cable for linear-cells”, Proceedings of the IEEE 25th Annual International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications (PIMRC 2014) pp 327 - 331 (2014 年 9 月 2 日)
- [3] Yafei Hou, Satoshi Tsukamoto, Takahiro Maeda, Masayuki Ariyoshi, Kiyoshi Kobayashi, Tomoaki Kumagai and Minoru Okada, “Configuration of MIMO system using single leaky coaxial cable for linear cell environments”, IEICE Communications Express Vol.4 No.5 pp143-148 (2015 年 5 月 19 日)

### 【申請特許リスト】

- [1] 鈴木文生、丹羽敦彦、漏洩同軸ケーブル用連結具及び漏洩同軸ケーブルの連結構造体、日本、2014 年 7 月 4 日
- [2] 塚本悟司、前田隆宏、侯亜飛、有吉正行、小林聖、鈴木文生、丹羽敦彦、デジタル無線通信装置およびデジタル無線通信システム、日本、2014 年 9 月 4 日
- [3] 塚本悟司、前田隆宏、侯亜飛、有吉正行、小林聖、鈴木文生、丹羽敦彦、デジタル無線通信装置およびデジタル無線通信システム、日本、2015 年 1 月 14 日

### 【国際標準提案リスト】

- [1] 3GPP・TSG-RAN Working Group1 meeting #78bis, R1-144284, A consideration of indoor linear cells using a leaky coaxial cable, 2014 年 10 月 1 日提案

### 【参加国際標準会議リスト】

- [1] 3GPP・TSG-RAN Working Group1(Radio) Meeting #76, Prague Czech, 2014 年 2 月 10-14 日
- [2] 3GPP・TSG-RAN Working Group1(Radio) Meeting #78, Dresden Germany, 2014 年 8 月 18-22 日
- [3] 3GPP・TSG-RAN Working Group1(Radio) Meeting #78bis, Ljubljana Slovenia, 2014 年 10 月 6-10 日

### 【受賞リスト】

- [1] Yafei Hou, 1st Prize of Excellent Paper Award in 2014 3rd IEEE Global Conference on Consumer Electronics, “4-by-4 MIMO channel using two leaky coaxial cables (LCXs) for wireless applications over linear-cell”, 2014 年 10 月 10 日
- [2] 沖 修平、映像情報メディア学会放送技術研究会 学生部門 優秀賞、“LCX を用いた 4×4 MIMO システムにおける無線端末の二次元位置検出”、2015 年 1 月 30 日
- [3] 沖 修平、電子情報通信学会 SIS 研究会若手研究優秀賞、“LCX-MIMO システムにおける MUSIC 法を用いた高精度端末位置検出”、2015 年 3 月 12 日

### 【報道掲載リスト】

- [1] “漏洩同軸ケーブル開発 1 本で無線伝送量 2 倍”、産業新聞、2014 年 11 月 6 日
- [2] “新漏洩同軸ケーブル開発 無線通信の速度向上”、鉄鋼新聞、2014 年 11 月 6 日

### 【本研究開発課題を掲載したホームページ】

[http://www.wel.atr.jp/organization\\_j/organization\\_jjapaneswscwsc-j/](http://www.wel.atr.jp/organization_j/organization_jjapaneswscwsc-j/)