

坪内 和夫

東北大学 電気通信研究所・名誉教授

ディペンダブルワイヤレスシステム・デバイスの開発

§1. 研究実施の概要

ディペンダビリティの高い広域・超高速ワイヤレスネットワークであるディペンダブル・エアの実現を目指し、本研究課題では、複数の無線通信システムを統合し、伝送距離・通信速度・消費電力・QoS の最適制御を行うことが可能となる無線通信端末である DWS (Dependable Wireless System) の実現を目指す。本年度は主に、(1) オールシリコン CMOS による 60GHz 帯送信回路 IC の設計・実装・評価、(2) 広帯域周波数領域等化 (FDE) 技術の ASIC 実装・評価、(3) 方式ごとに適応的にビット幅・サンプリング周波数を切り替えるスケーラブル ADC の検討のうち、特に高速化を目指した ADC 実装・評価を行った。

§ 2. 研究実施体制

(1) 東北大学グループ

- ① 研究分担グループ長：坪内 和夫 (東北大学電気通信研究所, 名誉教授) (研究代表者)
- ② 研究項目
 - ・ オール Si CMOS RF デバイス・回路の開発

(2) 東京工業大学グループ

- ① 研究分担グループ長：松澤 昭 (東京工業大学大学院理工学研究科, 教授) (主たる共同研究者)
- ② 研究項目
 - ・ スケーラブル ADC/DAC の基礎検討

(3) 高知工科大学グループ

①研究分担グループ長: 岩田 誠 (高知工科大学情報学群, 教授) (主たる共同研究者)

②研究項目

- ・ 周波数領域等化技術のためのセルフタイム型回路の基礎検討

(4) 広島大学グループ

①研究分担グループ長: 藤島 実 (広島大学大学院先端物質科学研究科, 教授) (主たる共同研究者)

②研究項目

- ・ 微細 Si CMOS 超高周波デバイスの基礎検討

(5) 三菱電機グループ

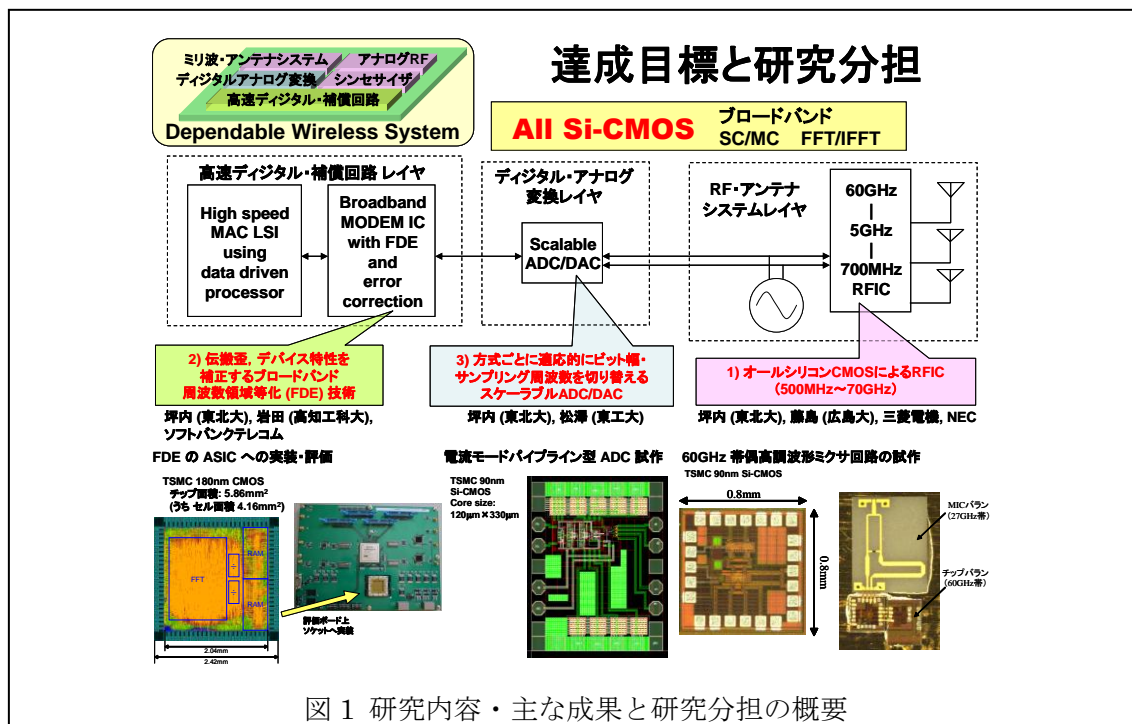
①研究分担グループ長: 平野 嘉仁 (三菱電機株式会社情報技術総合研究所, 部長) (主たる共同研究者)

②研究項目

- ・ オール Si CMOS 受信器 RF IC の開発

§3. 研究実施内容

(文中に番号がある場合は(4-1)に対応する)



本研究では、オールシリコンによる Dependable Wireless System の実現を目標として図 1 に示す 3 つの要素技術に関して研究開発を行う。本年度は、主に (1) オールシリコン CMOS による送信回路 RF IC の設計・実装・評価, (2) 広帯域周波数領域等化 (FDE) 技術の ASIC 実装・評価, (3) 方式ごとに適応的にビット幅・サンプリング周波数を切り替えるスケーラブル ADC の検討のうち、特に高速化を目指した ADC の検討を行った。

1) オールシリコン CMOS による RF IC (500MHz~70GHz)

○ 60GHz 帯送信回路 RF IC の設計・試作・評価 [2],[5],[8],[11]

ディペンダブルワイヤレスシステムの送信 RF 回路の一検討として、半導体プロセスとして 90nm CMOS プロセスを用いたミリ波帯送信回路の試作を実施した。図 2 にそのチップレイアウト図を示す。今後の 5GHz 帯システムと 60GHz 帯システムの共用を考慮し、入力 IF 信号は 5.2GHz, 出力 RF 信号は差動出力とし 62.64GHz として設計した。出力の差動片側における出力電力は 11dBm 程度になるように設計した。ミキサ部はシングルバランスミキサを二つ用いたダブルバランスミキサ構成とし、それぞれ独立して調整することができるようにした。ドライバ増幅部は、これまでの基礎検討の結果を考慮し、3 段構成の利得増幅器を 2 ブロック直列に接続した。送信増幅器は 4 段増幅器の構成で、2 系統の増幅器を集積化し、前段のバラン回路により逆相分配されるため、差動出力される構成である。

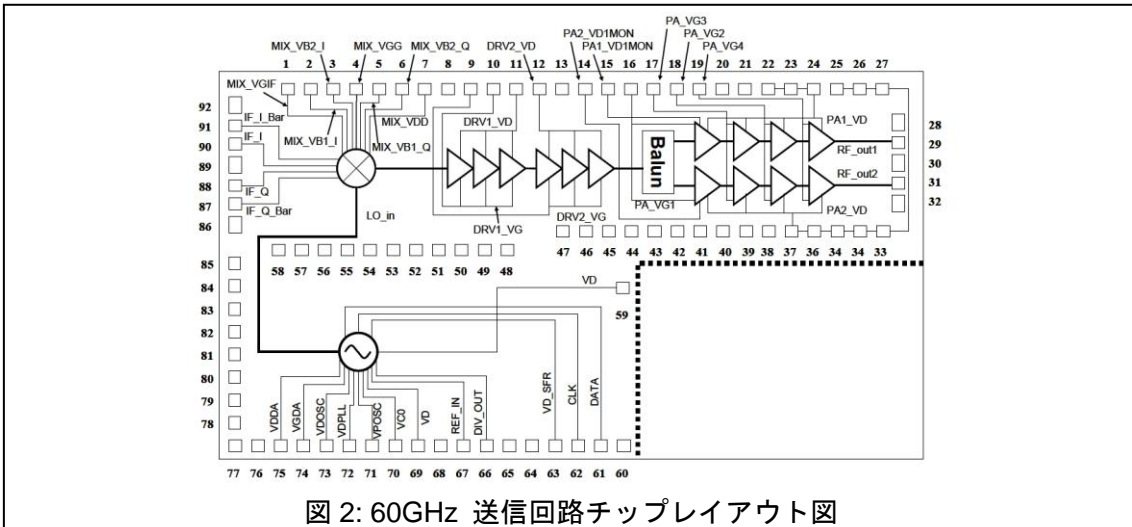


図 2: 60GHz 送信回路チップレイアウト図

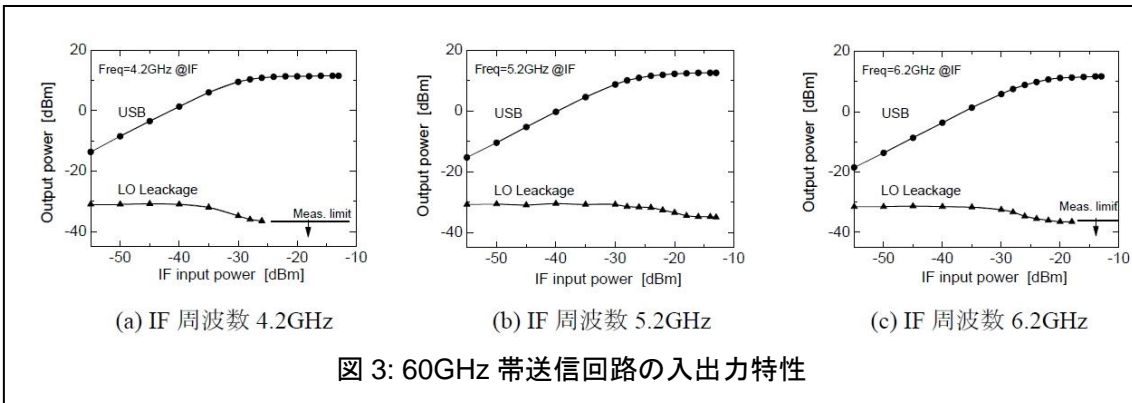


図 3: 60GHz 帯送信回路の入出力特性

試作チップの入出力特性を図 3 に示す. IF 周波数 5.2GHz, RF 周波数 62.64GHz における所望信号(USB: Upper Side-Band) では, 線形利得 39.6dB, P1dB 出力電力 8.8dBm, 飽和出力 12.5dBm が得られ, 仕様を満足した. LO リークは-30dBm 以下に抑えられている. また LSB (Lower Side-Band) である 52.24GHz 信号は, 用いたスペクトルアナライザの測定限界以下(<-38dBm)であり, 検出されなかった. IF 周波数 4.2GHz(RF 周波数 61.64GHz)では, 線形利得 41.3dB, P1dB 出力電力 9.1dBm, 飽和出力 11.5dBm が得られ, IF 周波数 6.2GHz(RF 周波数 63.64GHz)では, 線形利得 36.3dB, P1dB 出力電力 8.6dBm, 飽和出力 11.7dBm が得られた. この結果から, 試作チップはディペンダブルワイヤレスシステムの 60GHz 帯送信回路チップとして, 有用であることが示された.

○ ディペンダブル RF モジュールの要素回路技術の検討 [4],[12]

上記以外に, 60GHz 帯受信回路 IC の試作・評価と, 5GHz 帯要素回路の高性能化, 広帯域ディペンダブルアンテナの基礎検討などを行った.

2) 伝搬歪, デバイス特性を補正するブロードバンド周波数領域等化技術

○ 周波数領域等化回路の ASIC 実装・評価 [6]

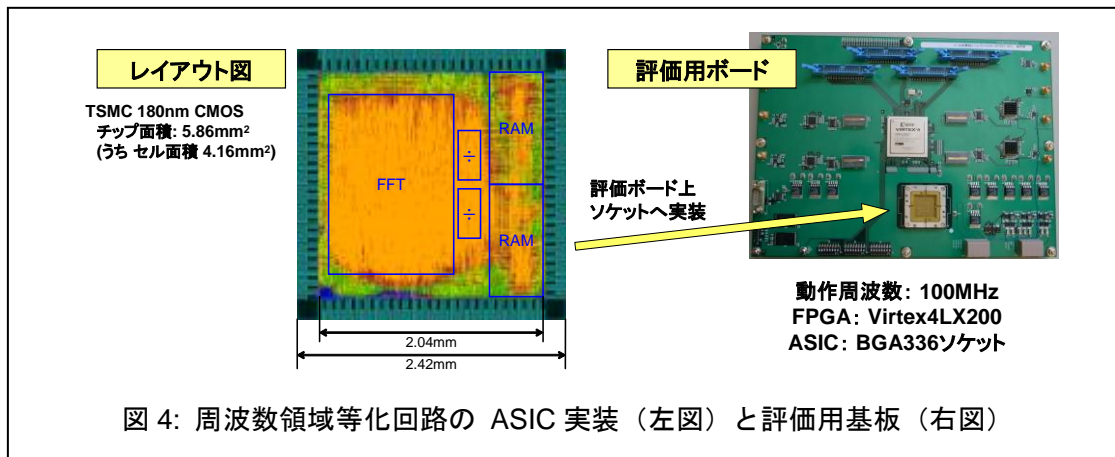


図 4: 周波数領域等化回路の ASIC 実装 (左図) と評価用基板 (右図)

広帯域移動通信において、無線チャネルは周波数選択性が強くなり伝送特性が大幅に劣化する。FDE を用いることでシングルキャリア通信においても周波数ダイバシチ効果が得られるため、BER 特性を大幅に改善可能であることが知られている。FDE に関して、これまでの研究は理論・シミュレーション検討がほとんどであったが、我々は演算アルゴリズムと同期方式の検討を行った上で、伝搬路推定回路、伝搬路補償回路を ASIC 実装を行った。図 4 が今回実装した FDE 回路構成である。チャネル推定に MMSE (minimum mean square error) 規範を用いている。FFT (fast Fourier transform) ポイント数は 128 とした。TSMC 社 180nm シリコン CMOS プロセスを用いて試作を行った。コアサイズ約 2mm 角で FDE 回路を実装できる。

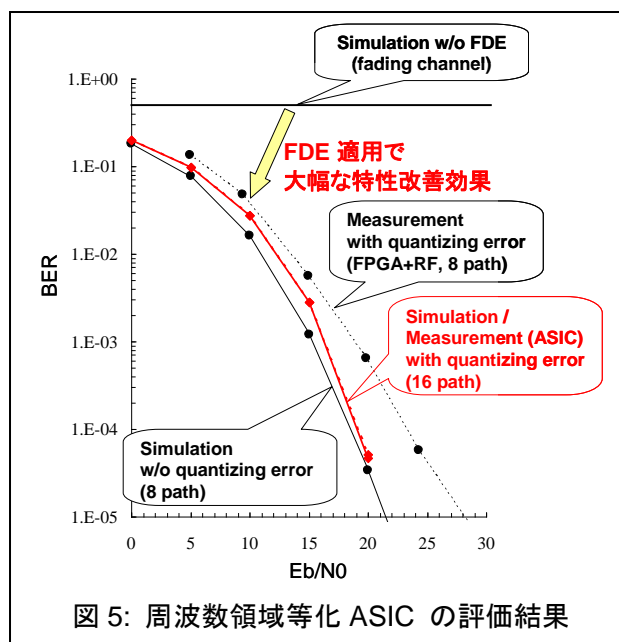


図 5: 周波数領域等化 ASIC の評価結果

この回路の評価を行った結果の一例を図 5 に示す。伝搬路に 16 パスのマルチパスフェージング環境を想定して評価を行った。FDE を用いない場合には、ほとんど通信できない状態であるが、FDE 回路を用いることで、大幅な特性改善効果が見られることを、試作した ASIC を用いた実測評価によって実証した。

この結果は、セルラ方式などの移動通信全般の伝搬路補償技術として適用可能だけでなく、超広帯域化によって、周波数特性の劣化が想定される高周波デバイスの特性改善にも非常に大きな効果があり、適用範囲が広い。

○広帯域ディペンダブル無線通信システムの設計・評価 [1],[3],[7],[9],[10],[13],[14]

周波数領域等化技術を適用することにより、広域移動通信システムや近距離超高速無線通信システムの設計手法が新たに必要となる。本年度はこれまで蓄積してきた広域モバイルブロードバンドシステムの実測結果を元に、主に広域移動通信システムに適用した場合の設計手法の提案と評価を行った。

3) 方式ごとに適応的にビット幅・サンプリング周波数を切り替えるスケーラブル ADC/DAC

○ 超高速 ADC の研究

我々の目標はほぼすべての通信規格に対応可能な、性能がスケーラブルに可変できるスケーラブル ADC/DAC 実現の目処をつけることである。DAC に関しては 10bit-12bit 数 GHz 程度のもので現行でも可能であり、ほとんどの通信規格に対応できるため、研究の主体を実現が困難なスケーラブル ADC の開発に置いている。

目標とする ADC の性能に関しては (a) ミリ波帯などの超高周波用途として 5bit, 2.5GHz 程度のもの、(b) 64QAM など帯域は制限されているが

多値変調技術よりデータレートを上げるシステムに対応するものとして 10bit, 400MHz 程度のもので、(c) 現行用いられている帯域である 10MHz 程度の信号に対応する 12bit, 40MHz 程度の ADC が 1 つの ADC でスケーラブルに実現可能な方法を研究している。このうち、(a) 5bit, 2.5GHz 程度のものに関しては、図6に示すようにフラッシュ ADC を並列に用いることで、ほぼ所期の目標を達成した。

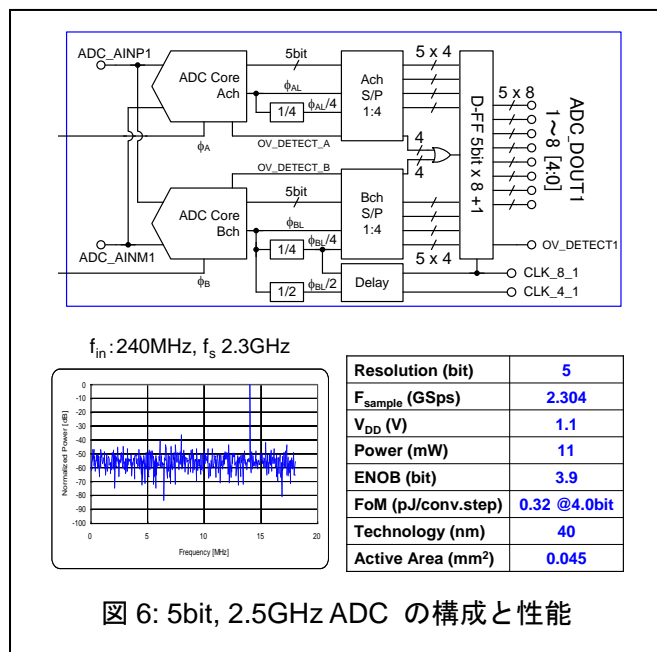


図 6: 5bit, 2.5GHz ADC の構成と性能

○ スケーラブル ADC のための要素回路技術の検討

従来の SC (switched capacitor) 型パイプライン型 ADC (analog-to-digital converter) では、微細化が進むにつれ電圧振幅が狭まり高利得オペアンプの実現が難しくなるため ADC の高精度化が困難になる。そこで、低電圧でも信号振幅を確保できるオペアンプレスの高速 SI (switched current) 型 S/H (sample and hold) を用いた電流モードパイプライン型 ADC の研究を進めている。本年度は 90nm シリコン CMOS プロセスで 5bit 1GS/s ADC を試作し、実測評価を行った。

§4. 成果発表等

(4-1) 原著論文発表

●論文詳細情報

- [1] S. Kameda, H. Oguma, N. Izuka, Y. Asano, Y. Yamazaki, T. Takagi, K. Tsubouchi, "Issue of IEEE 802.20 Vehicular-A Delay Profile Model on Estimating Received Signal Level Variation of Wideband Signal," 4th European Conference on Antennas and Propagation, EuCAP 2010, Mo-55, April 2010. (DOI: なし)
- [2] S. Yoshida, S. Kameda, T. Takagi, K. Tsubouchi, "Radiation Characteristics of a Planar Monopole Antenna Integrated with a 60GHz Band WPAN Module Using Organic Substrates," 4th European Conference on Antennas and Propagation, EuCAP 2010, C33P1-5, April 2010. (DOI: なし)
- [3] H. Oguma, S. Kameda, N. Izuka, Y. Asano, Y. Yamazaki, T. Takagi, K. Tsubouchi, "Coverage Estimation of Uplink 16 QAM Signal up to 20 MHz Bandwidth Based on Field Trial Results of FH-OFDMA System," IEEE Wireless Communications and Networking Conference 2010 (WCNC2010), Sydney, Australia, April 2010. (DOI: 10.1109/WCNC.2010.5506342)
- [4] T. T. Ta, S. Kameda, T. Takagi, K. Tsubouchi, "A 5 GHz Band Low Noise and Wide Tuning Range Si-CMOS VCO with a Novel Varactors Pair Circuit," IEICE Trans. on Electron., Vol.E93-C, No.6, pp.755-762, June 2010. (DOI: 10.1587/transele.E93.C.755)
- [5] 吉田 賢史, 小熊 博, 亀田 卓, 高木 直, 坪内 和夫, "有機樹脂基板を用いた 60 GHz 帯超小型 WPAN モジュール用アンテナの基礎的検討," 信学論, Vol.J93-B, No.6, pp.822-831, June 2010. (DOI: なし)
- [6] N. Kagawa, S. Sannomiya, and M. Iwata, "Macroscopic Power Simulation for Self-Timed Pipeline," Proceedings of the 2010 International Conference on Parallel and Distributed Processing Techniques and Applications (PDPTA'10), pp.589-595, Las Vegas (USA), July 2010. (DOI: なし)
- [7] T. T. Ta, S. Oshima, H. Oguma, S. Kameda, T. Takagi, and K. Tsubouchi, "A Constant Envelope Modulation Method Using Orthogonal Frequency Allocated Multi-Carrier MSK for Broadband Wireless System," Third International Conference on Communications and Electronics (ICCE 2010), August 2010. (DOI: 10.1109/ICCE.2010.5670720)
- [8] S. Yoshida, H. Oguma, S. Kameda, T. Takagi, and K. Tsubouchi, "60-GHz-Band

Planar Slot Antenna Using Organic Substrates for Ultra-Small WPAN Modules,” Third International Conference on Communications and Electronics (ICCE 2010), August 2010. (DOI: 10.1109/ICCE.2010.5670666)

- [9] S. Tomita, Y. Miyake, I. Kashiwamura, K. Komatsu, N. H. Tran, H. Oguma, N. Izuka, S. Kameda, T. Takagi, K. Tsubouchi, “Hybrid Single-Carrier and Multi-Carrier System: Improving Uplink Throughput with Optimally Switching Modulation,” Proc. 21st Annual IEEE Int. Symp. Personal, Indoor and Mobile Radio Commun. (PIMRC2010), Sept. 2010. (DOI: 10.1109/PIMRC.2010.5671729)
- [10] H. Oguma, S. Kameda, N. Izuka, Y. Asano, Y. Yamazaki, N. Suematsu, T. Takagi, and K. Tsubouchi, “Coverage Estimation of Downlink 64 QAM Signal Up to 20 MHz Bandwidth Based on Field Trial Results of FH-OFDMA System,” 12th IEEE International Conference on Communication Systems (ICCS2010), Singapore, Nov. 2010. (DOI: 10.1109/ICCS.2010.5686529)
- [11] S. Yoshida, S. Tanifuji, S. Kameda, N. Suematsu, T. Takagi, and K. Tsubouchi, “Copper Balls Interconnection Technology for 60GHz Band 3-D System-in-Package Modules,” 2010 Asia-Pacific Microwave Conference (APMC2010), TH3F-1, Yokohama, Dec. 2010. (DOI: なし)
- [12] T. T. Ta, K. Ando, S. Tanifuji, S. Kamera, N. Suematsu, T. Takagi, and K. Tsubouchi, “5GHz Band Low Phase Noise Si-CMOS Oscillator with Flip-Chip Mounted FBAR,” 2010 Asia-Pacific Microwave Conference (APMC2010), TH4F-3, Yokohama, Dec. 2010. (DOI: なし)
- [13] S. Tomita, N. Tran, Y. Miyake, K. Komatsu, H. Oguma, N. Izuka, S. Tanifuji, S. Kameda, N. Suematsu, T. Takagi, and K. Tsubouchi, “Influence of Hand Tremor for 60-GHz-Band Broadband Wireless Communication Terminal Based on Advanced Kiosk Model,” 2010 Asia-Pacific Microwave Conference (APMC2010), FR1C-1, Yokohama, Dec. 2010. (DOI: なし)
- [14] H. Oguma, S. Kameda, N. Izuka, Y. Asano, Y. Yamazaki, S. Tanifuji, N. Suematsu, T. Takagi, and K. Tsubouchi, “Measured Downlink Throughput Performance of Mobile Broadband Wireless Access System in Suburban Area,” 2010 Asia-Pacific Microwave Conference (APMC2010), FR1C-3, Yokohama, Dec. 2010. (DOI: なし)

(4-2) 知財出願

- ①平成22年度特許出願件数(国内 1件)
- ②CREST 研究期間累積件数(国内 6件)