

集積化RF MEMS技術

さまざまな通信方式に対応可能な次世代無線端末の開発に向け、高性能な無線通信デバイスを実現可能にするRF MEMS技術が注目されています。本稿では、多種類多数個のRF MEMSデバイスをLSI上に形成する「集積化RF MEMS技術」について紹介します。

くわばら けい さとう のりお
桑原 啓 /佐藤 昇男
しまむら とししげ もりむら ひろき
島村 俊重 /森村 浩季
こだて じゅんいち いしい ひろむ
小舘 淳一 /石井 仁

NTTマイクロシステムインテグレーション研究所

無線端末とRF MEMS技術

近年、携帯電話や無線LAN、地上波デジタル放送など、無線通信技術を用いたさまざまな通信サービスが提供されています。これらの通信サービスは、それぞれ異なる通信周波数や通信方式を用いており、サービスや利用シーンの国際化とあいまって、広範囲な周波数にわたって多様な通信方式が規格化されています。

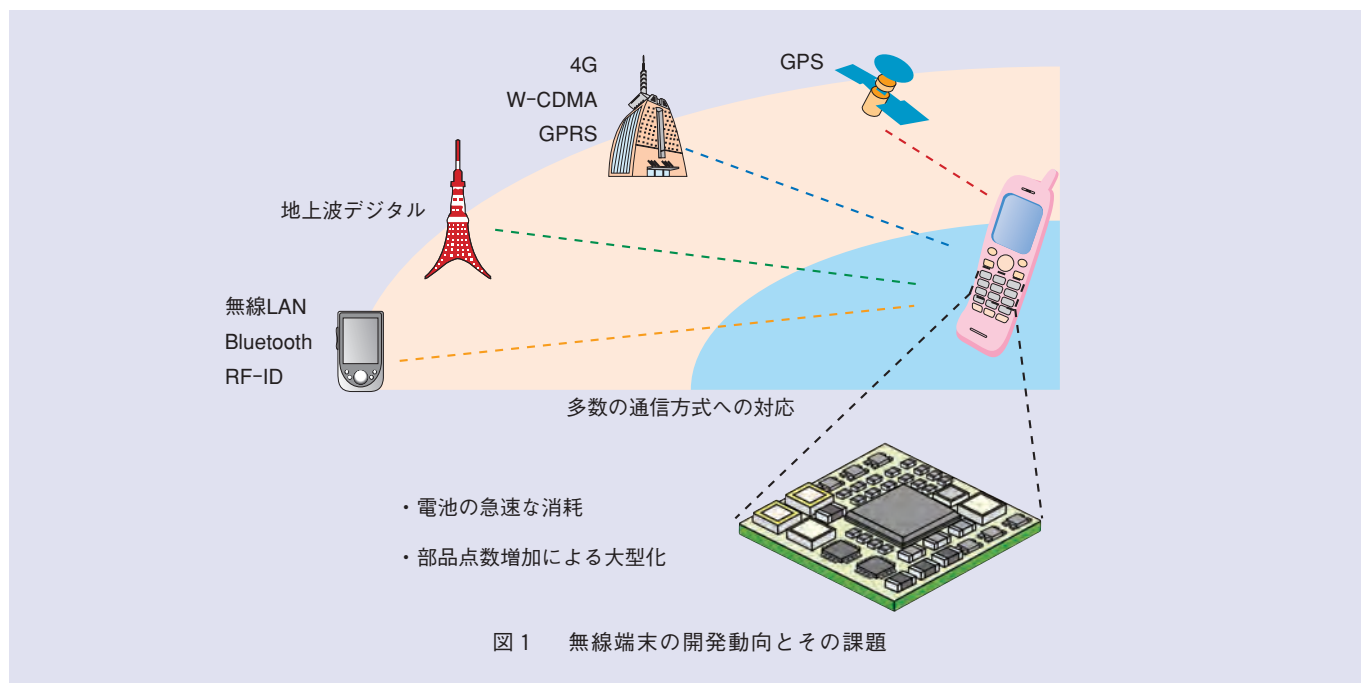
次世代の無線端末の開発において

は、さまざまな通信サービスをいつでもどこでも利用可能とするため、図1に示すように、多様な通信方式に1台で対応可能な無線端末の実現が求められています。しかしながら、このような端末を、従来の無線回路を複数搭載するようなアプローチで実現しようとした場合、部品点数の増加による大型化や、消費電力の増大による電池の急速な消耗が問題となります。

そこで、利用する通信方式に応じて回路構成を動的に再構成するリコン

フィギュラブル無線回路技術が研究されています。リコンフィギュラブル無線回路により、回路規模や消費電力を増大させることなく複数の通信方式に対応することができるようになると期待されています。

リコンフィギュラブル無線回路を実現するためには、回路構成を切り替えるためのスイッチや、特性を変化させることが可能な受動素子などが必要となります。ところが、無線通信では数百MHz～数GHz以上の高い周波数



の信号を処理するため、従来の素子では性能が不十分で信号の劣化が生じたり、十分な性能を確保するために多数の外付け部品が必要になるという問題があり、実用的なりコンフィギュラブル無線回路を実現することは困難でした。

この問題を解決するため、高性能かつ小型の無線通信デバイスを実現可能なRF MEMS (Radio-Frequency Micro Electro Mechanical Systems : 無線周波数微細電子機械システム) 技術が注目されています⁽¹⁾。MEMS技術とは、微細加工技術を利用してマイクロメータオーダの微細な機械部品を製造する技術であり、近年、センサや医療、バイオ、通信などいろいろな分野への応用が検討されています。このうち、無線通信の回路にMEMS技術を応用したのがRF MEMS技術です。微細な可動構造を用いることで、信号を劣化させることなく回路構成を切替可能な機械式のスイッチや、広い可変域を備えた可変容量、機械的な共振特性を応用した小型フィルタなど、多種多様なRF MEMSデバイスが開発されています。これらのデバイスを活用することによって、実用的なりコンフィギュラブル無線回路の開発が可能になると考えられています。

集積化RF MEMS技術

従来のRF MEMS技術は、さまざまな種類のデバイスを別個に単体の部品として開発していました。この方法では、デバイス自体は微細かつ小型で

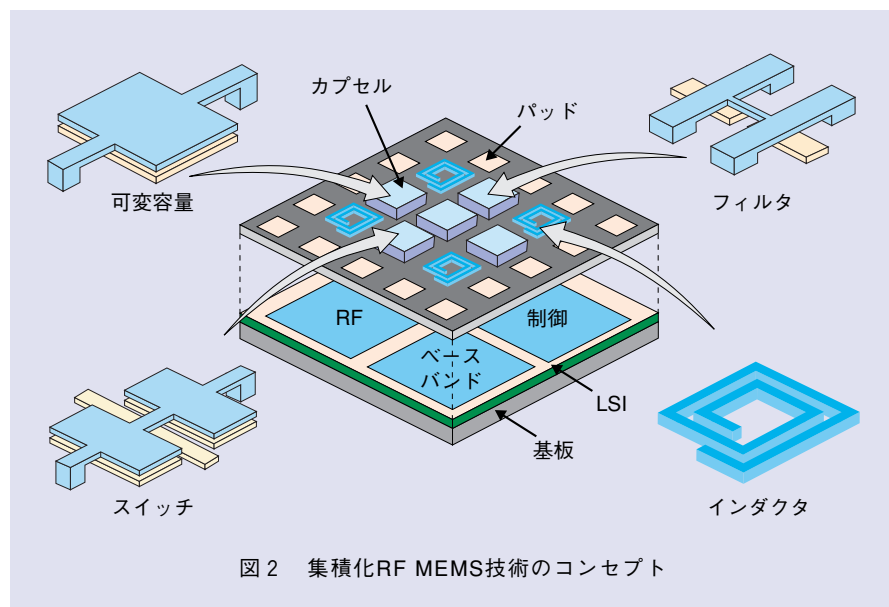


図2 集積化RF MEMS技術のコンセプト

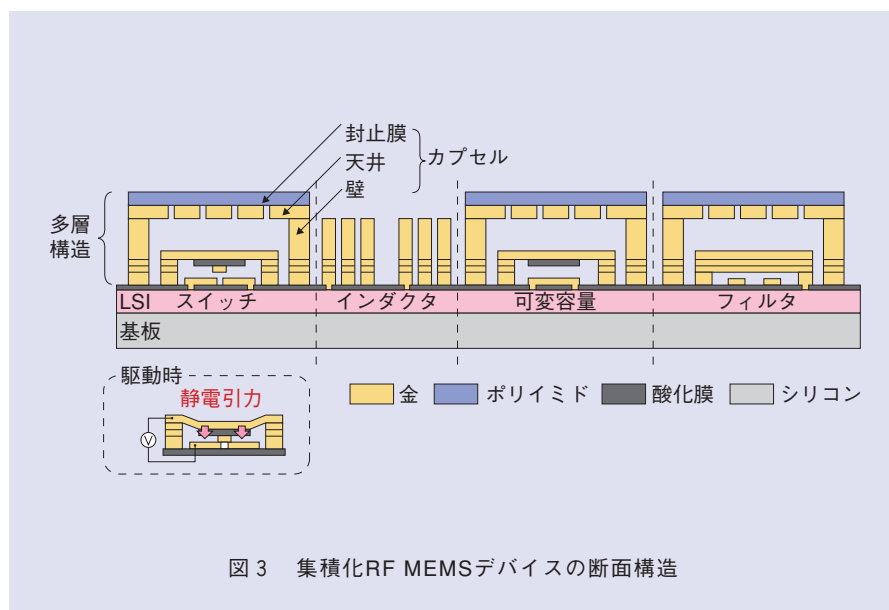


図3 集積化RF MEMSデバイスの断面構造

あっても、これらをパッケージに入れて回路基板上で組み合わせると、サイズが大きくなったり、配線の寄生素子の影響によって性能が劣化したりしてしまいます。また、RF MEMSデバイスは可動部を有しており、ウエハをチッ

プに切り分けるダイシングなどの実装工程においてデバイスが容易に破損してしまうため、特殊な実装技術の開発が必要でした。

我々は、図2に示すように、LSIチップ上にカプセル化した多種類多数

個のRF MEMSデバイスを形成する「集積化RF MEMS技術」の研究を行っています⁽²⁾。多種類多数個のRF MEMSデバイスの集積化により、リコンフィギュラブル無線回路を1チップで実現することが可能になります。また、カプセル化により、従来のLSI実装技術を用いてもRF MEMSデバイスを破損させることなく実装することが可能になります。

■構造

集積化RF MEMSを実現するための断面構造を図3に示します。異なる構造を要する異なる種類のデバイスを集積化するため、各デバイスを複数の層に分割し、各層の形成工程を共有化しながら積層することによって、同一基板上に一括して多種類のデバイスを形成することを可能にしています。また、可動部を備えたデバイスについては、周囲を壁、天井で取り囲み、封止膜で封止することによって保護しています。

これらのデバイスは、静電引力を用いて駆動を行います。図3に示しているように、対向する電極の間に電圧を印加することによって、静電引力を発生させて可動部を動かし、電気信号のスイッチングや、容量の変化、周波数フィルタリングなどの機能を実現しています。

■製造プロセス

我々は、シームレスインテグレーション技術⁽³⁾を基盤として、RF MEMSデバイスを集積化するためのプロセス技術を構築しています。図4は、スイッ

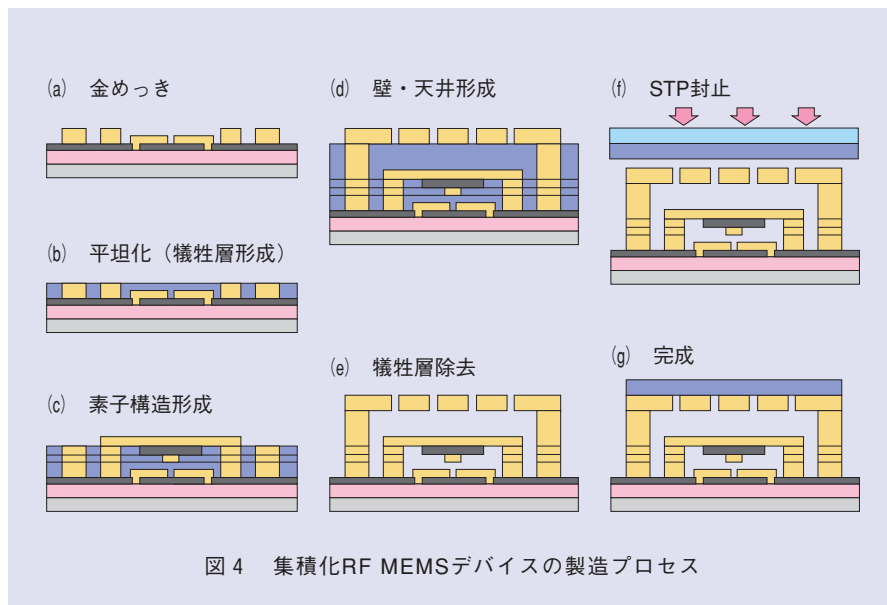


図4 集積化RF MEMSデバイスの製造プロセス

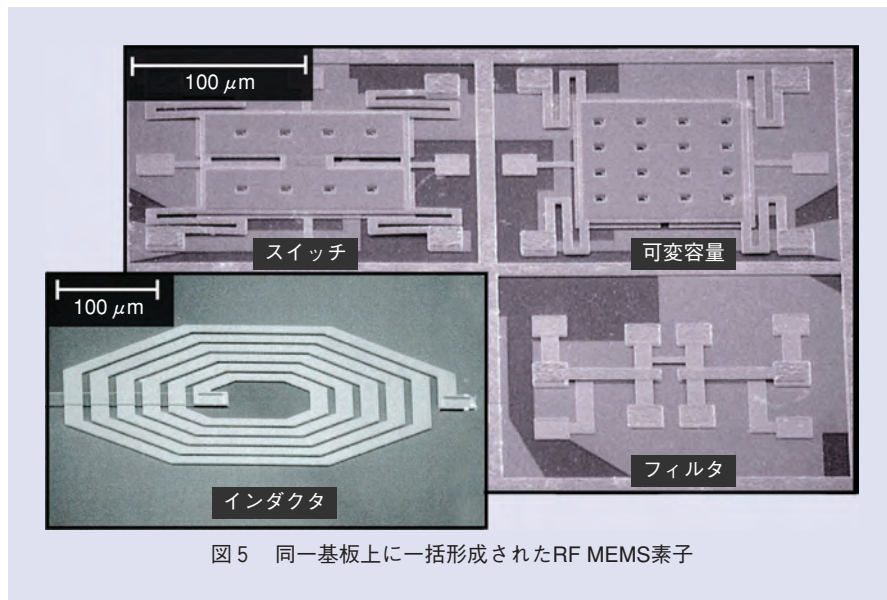


図5 同一基板上に一括形成されたRF MEMS素子

チ構造を例とした製造方法を示しています。初めに、LSIが形成されたウエハ上に、金めっきにより信号線などの下部構造を形成します(図4(a))。次に、感光性の有機樹脂を用いて下部構造の凹凸を平坦化します(図4(b))。

有機樹脂は、素子構造を形成するために一時的に形成する膜であり、犠牲膜と呼ばれます。続いて、金めっきと平坦化を繰り返すことによって、素子構造を形成します。(図4(c))。このように、金めっきと平坦化を基本とす

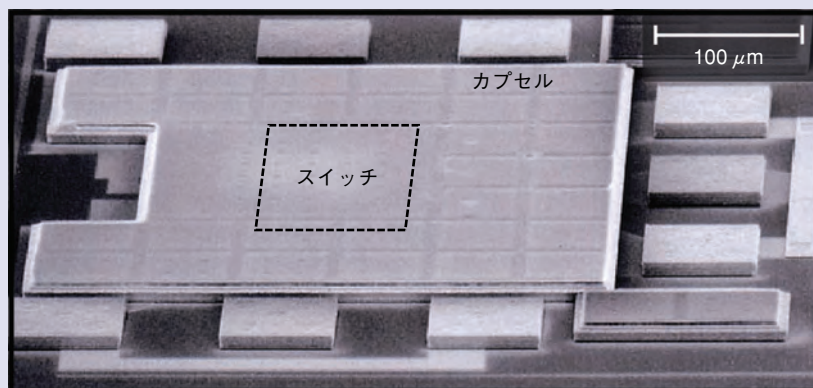
る積層技術により、多層構造の簡易な作製を可能にしています。素子構造の形成後、さらに積層を重ねて壁と天井を形成し（図4 (d)）、犠牲層を除去して可動空間をつくります（図4 (e)）。最後に、犠牲膜を除去するため、天井に空いている孔（エッチングホール）をSTP（Spin-coating film Transfer and hot Pressing）技術^{(4), (5)}を用いて封止します。これにより、外部からの異物の侵入を防ぐことができます。STP技術は、我々が独自に開発した薄膜転写技術であり、この技術を用いることで、ウエハ上に形成された多数のRF MEMSデバイスを一括して封止することができます。

■試作結果

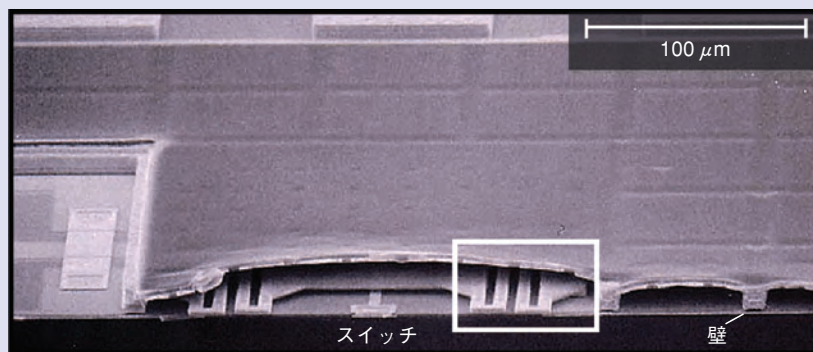
上記の構造とプロセスを用いて開発した集積化RF MEMSデバイスを図5に示します。スイッチ、可変容量、フィルタ、インダクタなど多種類のデバイスを同一基板上に一括して形成することができました。これらは0.1 mm程度と髪の毛の太さ程度の大きさであり、LSIチップ上に多数個のデバイスを集積化することが可能です。

また、これらのデバイスを測定した結果、電圧の印加に応じて構造が動き、従来のデバイスを上回る高い性能が実現可能であることを確認しました。

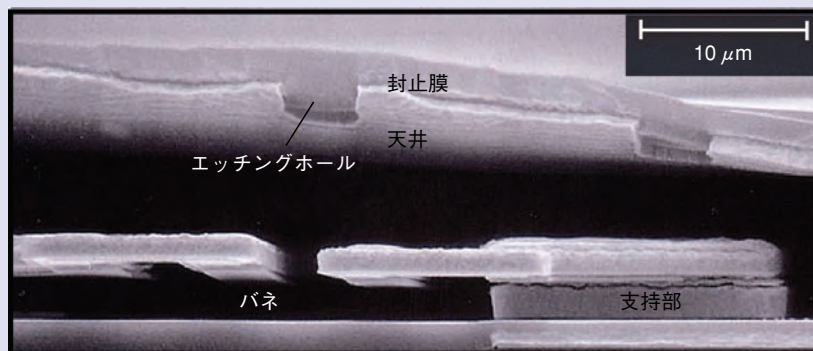
次に、STP技術を用いて封止を行った結果を図6に示します。図6 (a) は、カプセルの外観写真、図6 (b) はカプセルを破断して内部を露出させた写真であり、カプセル内部にスイッチが形成されている様子が分かります。図6



(a) スイッチを内包するカプセルの外観



(b) カプセル内部に形成されたRF MEMSスイッチ



(c) 断面拡大図

図6 カプセルにより保護されたスイッチ

(c) は拡大断面写真であり、STP技術を用いることによって、エッチングホールが封止されていることが分かります。カプセルでスイッチを保護することに

よって、実装工程を経ても、スイッチが壊れないことを確認しています。

以上のように、多層構造や積層プロセス、封止技術を用いることによって、

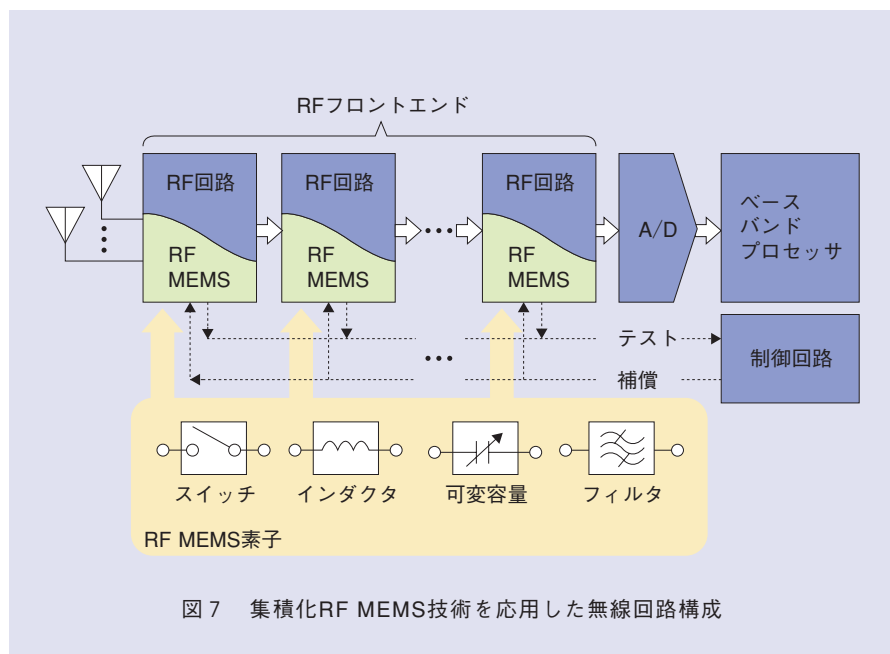


図7 集積化RF MEMS技術を応用した無線回路構成

カプセル化した多種類のRF MEMSデバイスの集積化を実現しています。

今後の展開

我々は、今回紹介したRF MEMSデバイスの集積化技術や保護技術などを基盤とし、社内の回路研究グループとも連携しながら、RF MEMSデバイスとLSIの融合技術についてさらに研究を進めています。

図7は、RF MEMSデバイスを集積化した無線回路の概念的な構成を示しています。この回路は、RF MEMSデバイスが集積化されたRF回路や、A/D変換器、ベースバンドプロセッサ、制御回路などから構成されています。このような融合を推し進めることによって、リコンフィギュラブル無線回路のシングルチップ化や、LSI技術を用いた制御によるRF MEMSデバイス

の特性高精度化、オンチップテストによる製造性の向上などが可能になると考えられます。このような無線回路を実現するため、LSIとの集積化に適したRF MEMSデバイスの構造・作製プロセスや、RF MEMSデバイスを活用した無線回路の構成技術などについて検討を行っています。

将来的には、この技術を用いることにより、ユビキタスネットワークを支える次世代無線端末を開発し、いつでもどこでもさまざまな情報にアクセス可能な無線通信サービスの創出へとつながっていきたいと考えています。

参考文献

- (1) S. Lucyszyn: "Review of radio frequency microelectromechanical systems technology," IEE Proc.-Sci. Meas. Technol., Vol.151, No.2, pp.93-103, March 2004.
- (2) K. Kuwabara, M. Urano, J. Kodate, N. Sato, H. Morimura, T. Sakata, H. Ishii, T. Kamei, K. Kudou, M. Yano, and K. Machida: "Novel Structure and Fabrication Process for

Integrated RF Microelectromechanical-System Technology," JJAP, Vol.45, No.9A, pp.6849-6853, 2006.

- (3) H. Ishii, S. Yagi, K. Saito, A. Hirata, K. Kudo, M. Yano, T. Nagatsuma, K. Machida, and H. Kyuragi: "Microfabrication technology for high-speed Si-based systems," Proc. Micromachining and Microfabrication SPIE, Vol.4230, pp.43-52, 2000.
- (4) K. Machida, H. Kyuragi, H. Akiya, K. Imai, A. Tounai, and Nakashima: "Novel global planarization technology for interlayer dielectrics using spin on glass film transfer and hot pressing," J. Vac. Sci. Technol., Vol.B 16, No.2,3, pp.1093-1097, 1998.
- (5) N. Sato, K. Machida, K. Kudou, M. Yano, and H. Kyuragi: "Advanced transfer system for spin coating film transfer and hot-pressing in planarization technology," J. Vac. Sci. Technol., Vol.B 20, No.3, pp.797-801, 2002.



(上段左から) 森村 浩季/ 桑原 啓/
佐藤 昇男
(下段左から) 小館 淳一/ 島村 俊重/
石井 仁

新たな無線通信サービスの創出に向け、MEMS技術を核とした差別化技術を確立し、革新的なデバイスを世に送り出していきたいと考えています。

◆問い合わせ先

NTTマイクロシステムインテグレーション研究所
TEL 046-240-2717
FAX 046-240-4321
E-mail k-kuwa@aecl.ntt.co.jp