電気電子基礎学（通信関係）

荒木　純道

2008/10/3

波動・情報伝送・電気電子工学

- 「波動」が、エネルギー・情報伝送の生みの親です。
- 一番スピードが早くて、作るのも受け取るのも便利な「波」→「電磁波・光波」

2008/10/3

エレクトロニクスと通信

- この電磁波･光波を作り、伝え、受け取る回路デバイスを研究するのがエレクトロニクスの大きなテーマ！

通信系と電力系

- 通信系（情報伝送）と電力系（エネルギー伝送）には類似した技術が使われています。
- しかし、ハンバーグを温める電子レンジも2.4ＧＨｚの電磁波を使っていますが、これは情報伝送（通信）を目的とはしていませんね。
- 目的に応じて、電磁波の性格も大きく変わります。
- でも最近のRF-IDでは、情報と電力を同時に送っています。（SUICAなど）

2008/10/3

2008/10/3

波動とは？

- （関連講義）　電磁気学Ｉ，II
- 大雑把に言うと、異なる物理量（例えば、電界と磁界、気体の密度と速度）が互いに空間的時間的に相互作用していて、ほぼその形を保ったまま時空間を伝播していく物理現象を指しています。
- ですから単一の物理量だけでは波動伝播は起きません。静電界のことを思い起こしてみてください。

James Clerk Maxwell, G. J. Stodart'ın bir ovmabaskısı

Maxwellの方程式

- 電界の時間変化→磁界の渦
- 磁界の時間変化→電界の渦
- 電磁波：横波、偏波がある（ベクトル場）
- 音波：縦波、偏波がない（スカラ場）
- 速度：$c=1/\sqrt{(\varepsilon\mu)}=3\times10^{8}$ (m/s)
- ε 誘電率
- μ 透磁率
- 真空中でも伝播できます。
  夜空の星が見えるのもそのお陰。

2008/10/3

2008/10/3

2008/10/3

Ampere (フランスの物理学者)

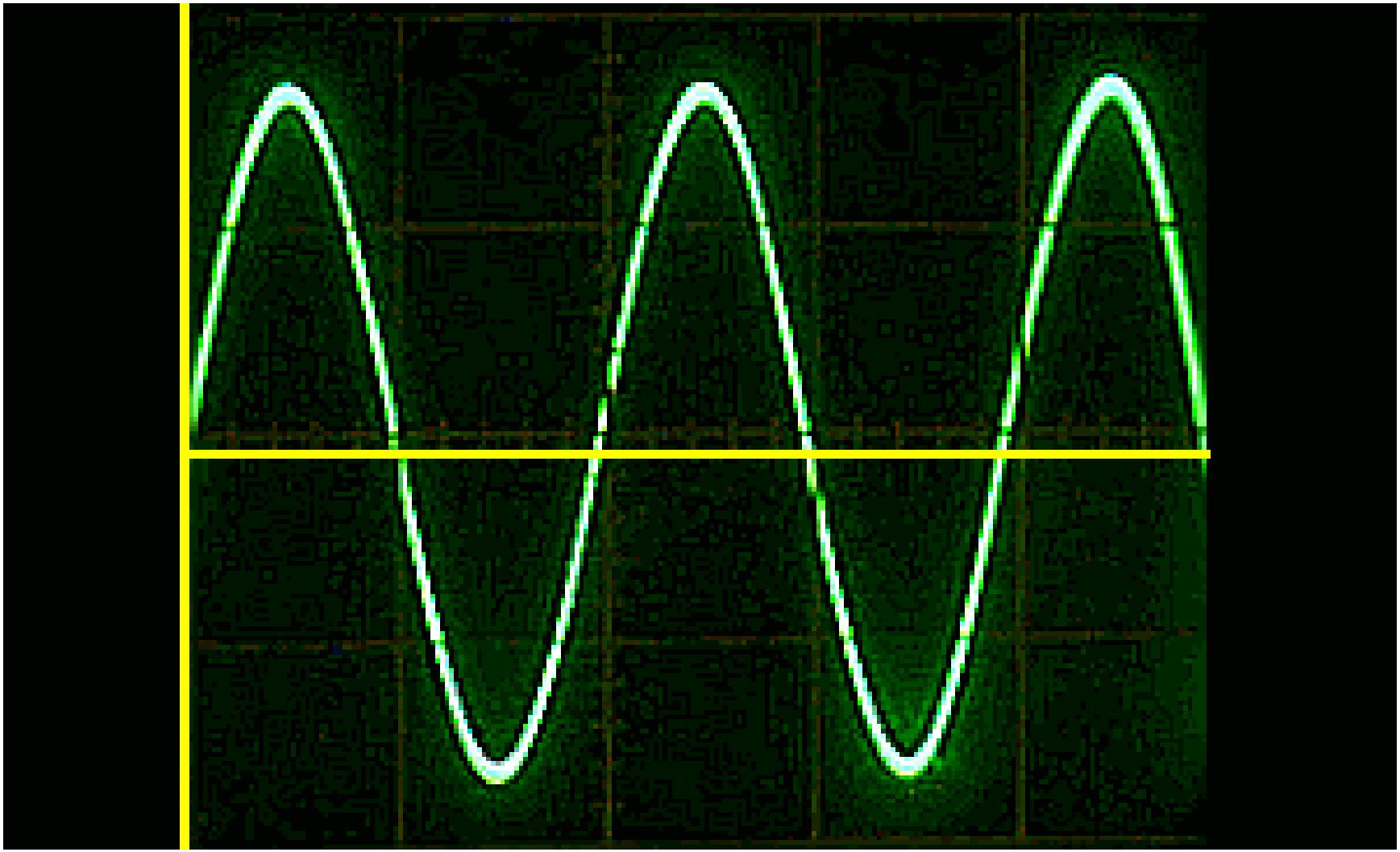
- 電流と磁界の関係解明：アンペアの法則
- 電流の単位[A]
- デジタル通信の開祖？
- 直流電池＋導線＋スイッチ＋検流計
- でも、符号化の概念がなかった、残念！

波動を作り育てる

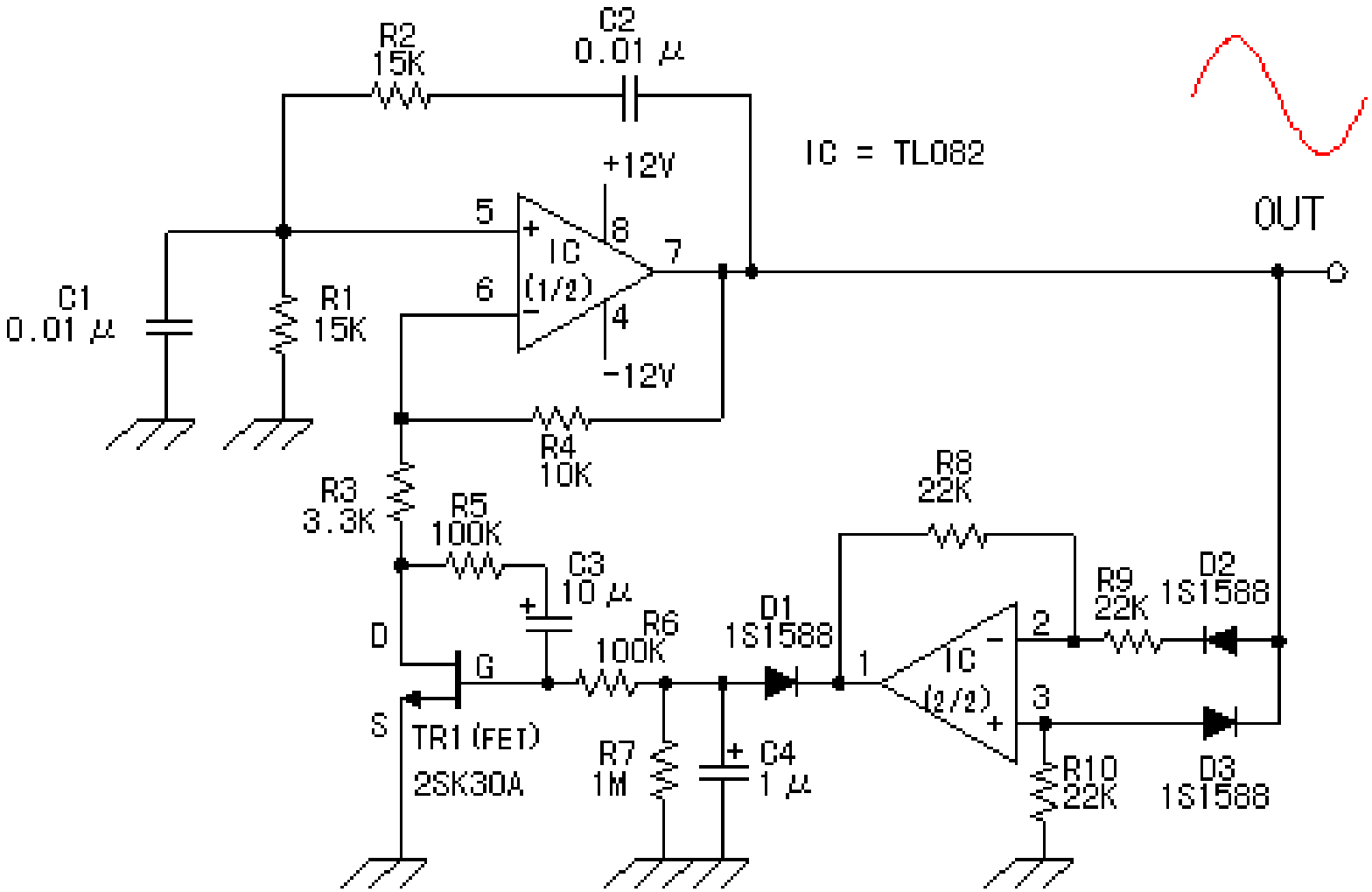
- 「関連科目」　アナログ電子回路、
  電子デバイス、光エレクトロニクス
- 発振器：生みの親
- 増幅器：育ての親

発振器

- 「育ちの良い」波動、つまりほぼ単一な周波数からなる波を作ります
- 目標とする周波数は100kHzから100THzまでとてもバラエティに富んでいます
- 周波数のゆらぎ→位相雑音、通信の品質に影響します。
- 高調波成分→三角関数(Sin,Cos)からのずれを少なくすることも大切です。



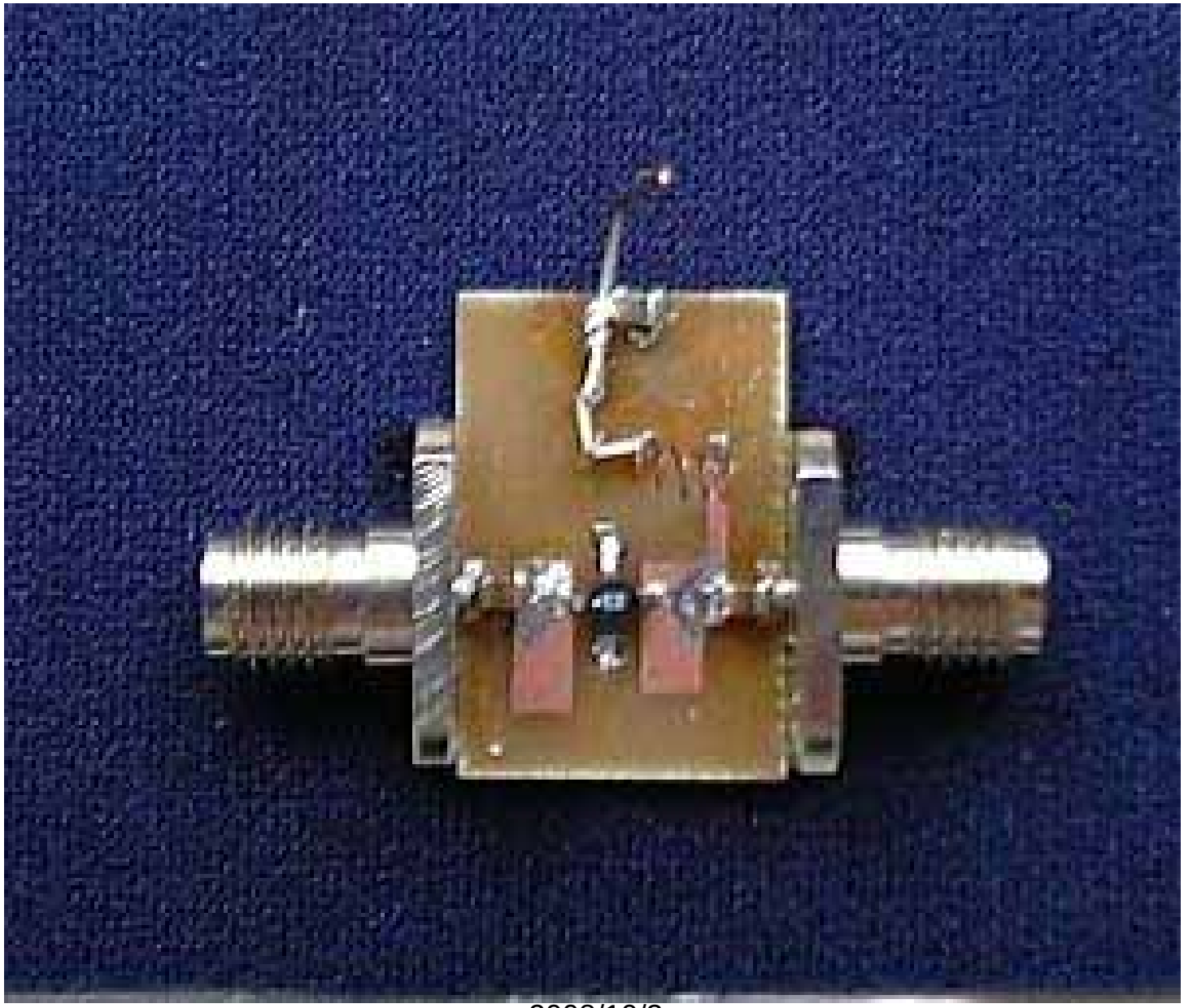
2008/10/3


R2
15K
C2
0.01 μ
IC = TL082
+12V
5
8
IC
(1/2)
7
6
4
-12V
OUT
C1
0.01 μ
R1
15K
R4
10K
R3
3.3K
R5
100K
C3
10 μ
R8
22K
R9
22K
D2
1S1588
D
G
S
TR1 (FET)
2SK30A
R6
100K
D1
1S1588
1
IC
(2/2)
2
3
R7
1M
C4
1 μ
R10
22K
D3
1S1588

増幅器

- 大きな電力を出力する電力増幅器
  (出力電力)、放送局の送信出力１０ｋW
- 微弱な信号を雑音に汚されないで増幅する低雑音増幅器 (雑音指数)、HEMTトランジスタのNF=１ｄB地上３６０００ｋmかなたの微弱衛星放送電波も受信可能！
- 広い帯域の信号を増幅する広帯域増幅器
  (帯域幅) InP光通信中継器４０GHzなど、

これもバラエティー一杯です。



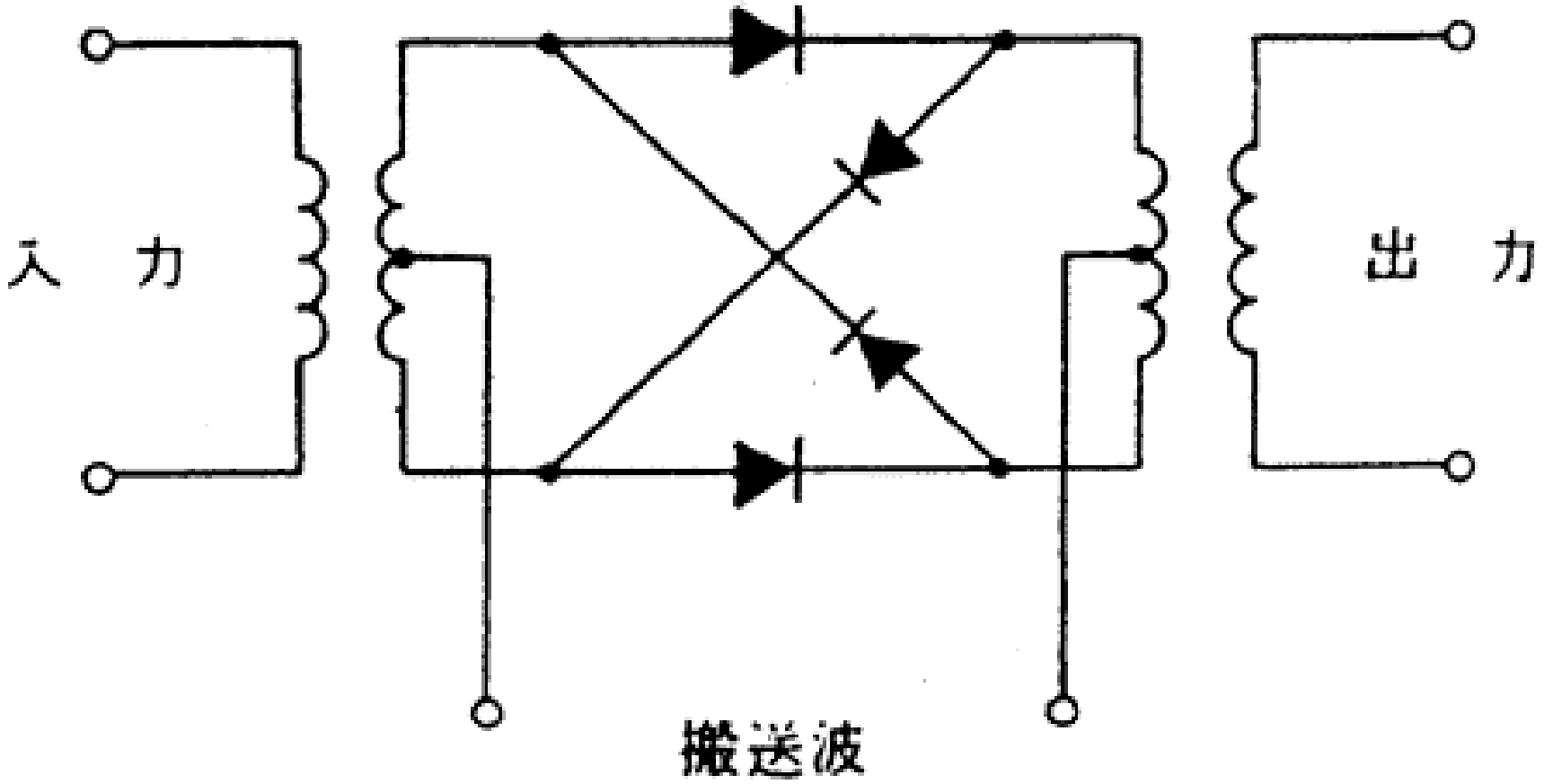
2008/10/3

波動に個性を与え変身させる

- 「関連科目」 デジタル信号処理、波動工学、通信伝送工学
- 変調器
- 周波数変換器

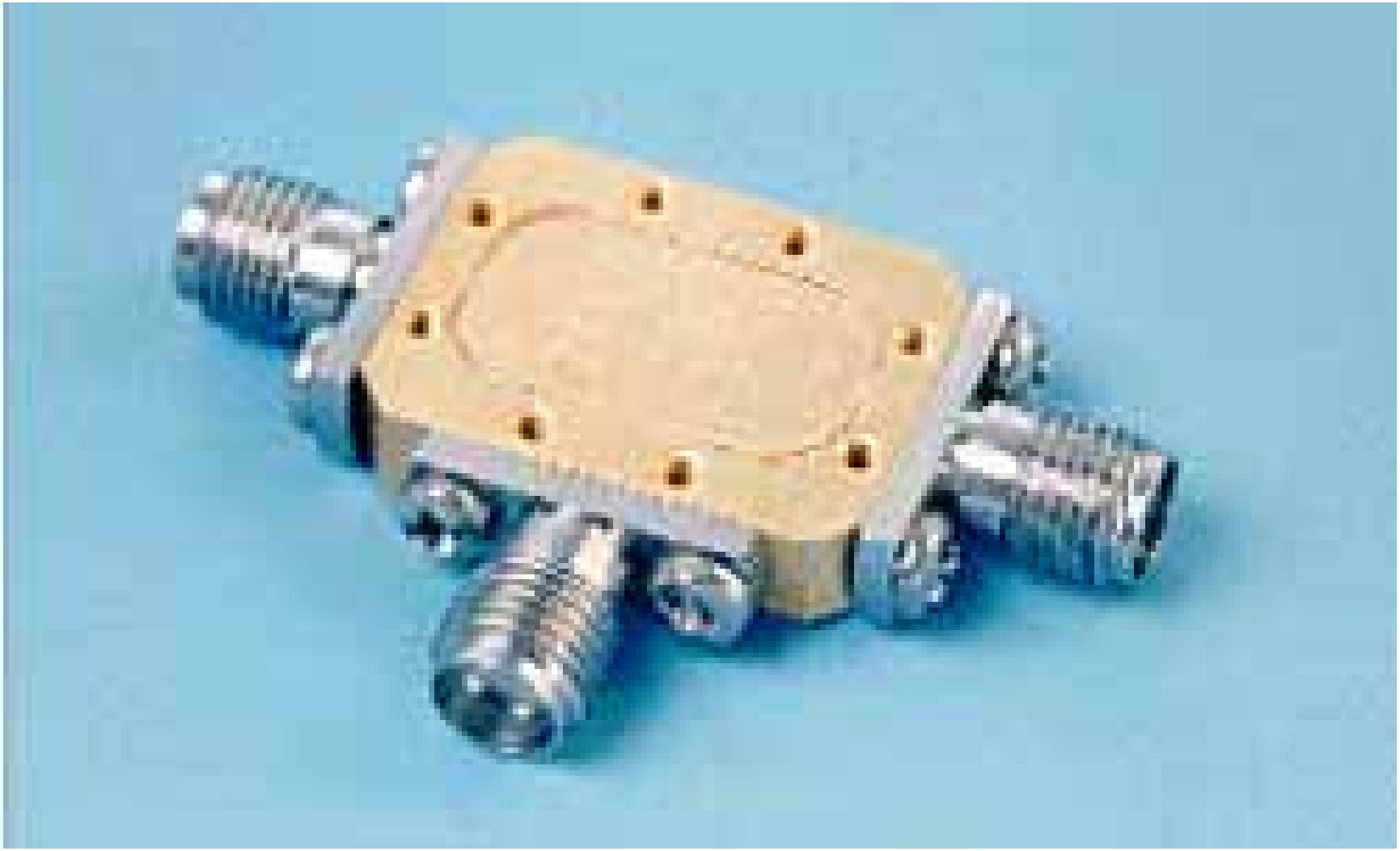
変調器

- 波動の3大パラメタは、「周波数、振幅、位相」です。
- これを加工することによって、初めて波動に「情報」を乗せることができます。
- デジタル変調：FSK（ピアノの鍵盤と同じ　），ASK,PSK
- アナログ変調：FM,AM,PM
- 携帯電話：第1世代FM、第2世代PSK、第3世代CDMA、第4世代OFDM


入　力
出　力
搬送波

周波数変換

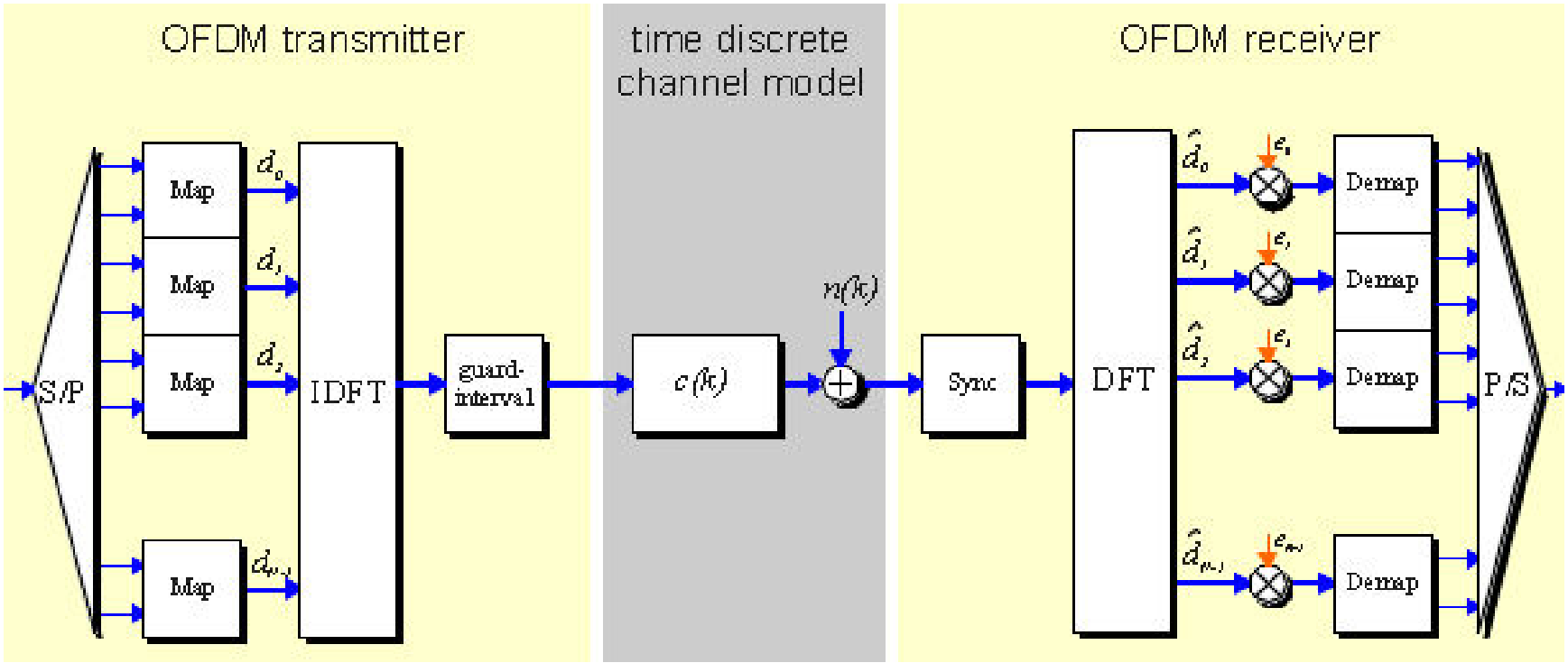
- 波動のパラメタ「振幅、位相」を変えずに周波数だけを変更して通信しやすい（もしくは許可されている）周波数バンドに移動してやることが重要です。
- 2つの信号（その内の1つは単振動）を掛算してやると周波数が移動できます。
- 掛算をする回路デバイス：ミキサと呼ばれます。



2008/10/3

周波数軸と時間軸

- なお、現象を時間軸上で眺めるとともに周波数軸上で捉えることもとても重要です。それらの変換関係はシッカリ理解しておきましょう。
- フーリエ変換は習いましたね？
- 周波数帯域幅（周波数軸）と情報伝送速度（時間軸）とは密接な関係があります。
- 最近の例では地上波デジタルTVでOFDMがつかわれています。フーリエ変換がその基礎
- 画像圧縮のMPEGでもフーリエ変換が。


OFDM transmitter
time discrete channel model
OFDM receiver
S/P
Map
Map
Map
Map
IDFT
guard-interval
c(k)
n(k)
Sync
DFT
Demap
Demap
Demap
Demap
P/S

波動を送る

- 「関連科目」　光エレクトロニクス、無線伝送工学、無線通信システム
- 送信機＋線路＋受信機

波動と線路

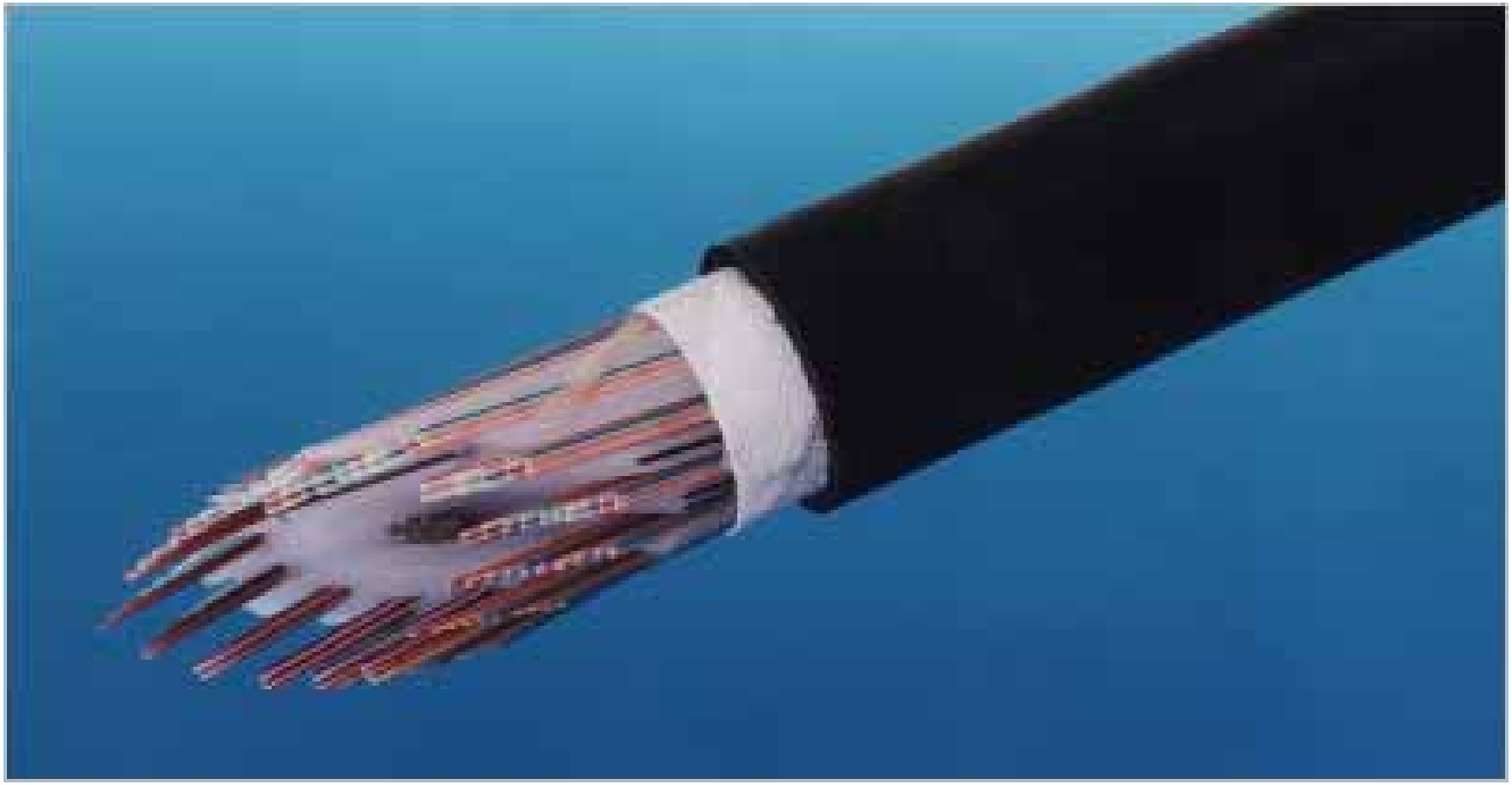
- 波動を送る際に「線路」があるかないかで大きく状況が変わります。
- 線路は波動が勝手に四方八方に拡がっていかないように

  そして減衰したり、歪んだりしないようにするものです。
- 有線系(1D)　vs　無線系(3D)

  2D？

「線路がある」

- 有線系、光ファイバー（20世紀の三大発明の一つ）に代表され、大容量固定基幹通信の主役です。
- ビックリするほど、損失が少ないです。
  0.1dB/km
- それに周波数帯域はとても広いです。
- 同軸線路を使ったCATVも有線系です。



2008/10/3

「線路がない」

- 無線系
  携帯電話、無線LANに代表され、モビリティのある通信
- いつでもどこでも通信できることは、とても便利ですね。
- 送信側、受信側が協力しあい仮想的に有線系に近いことを実現する手段も研究されています。(⇒MIMO通信)

画面拡大図

メニュー部分
拡大図

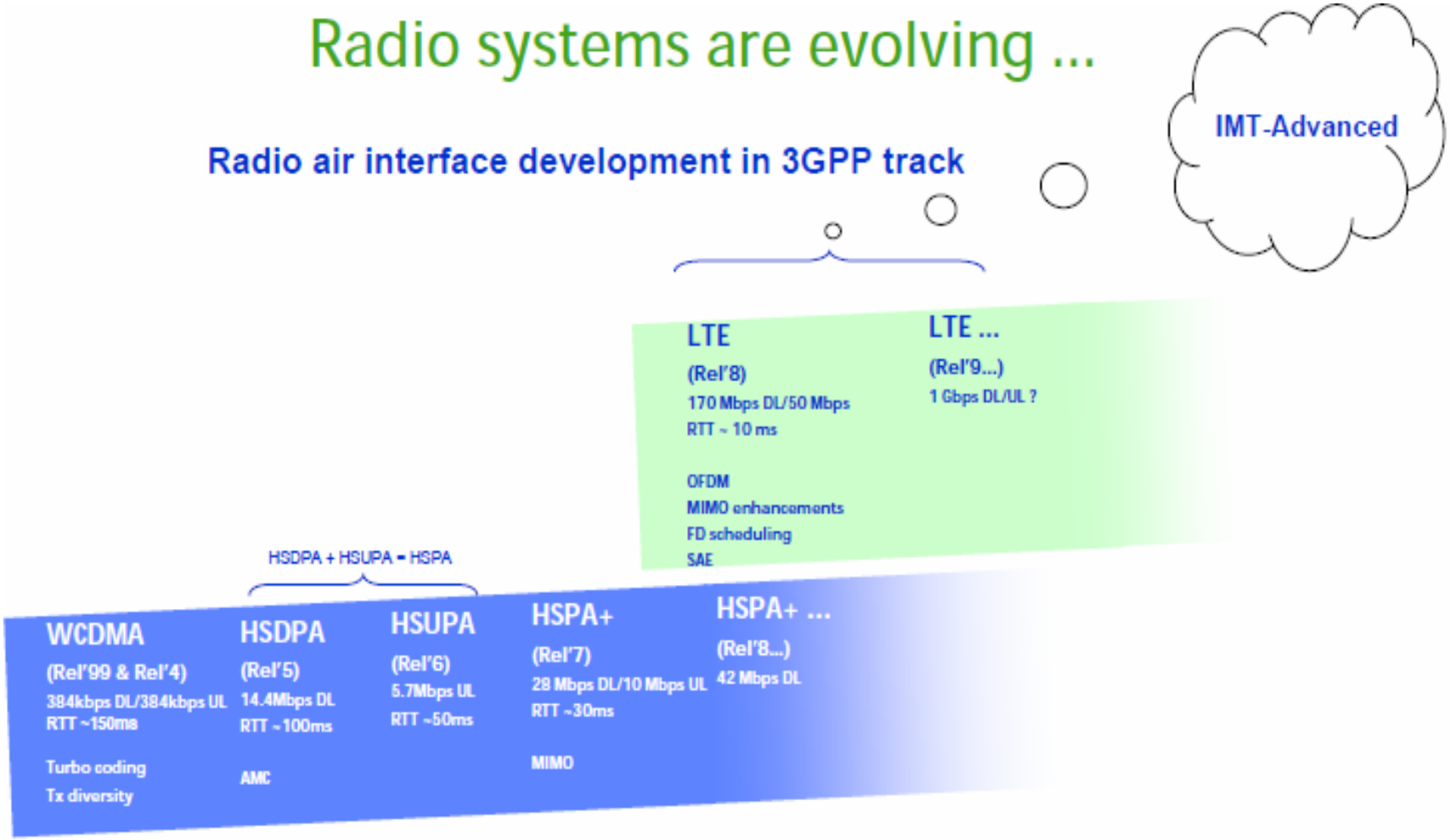
2008/10/3

MIMO通信

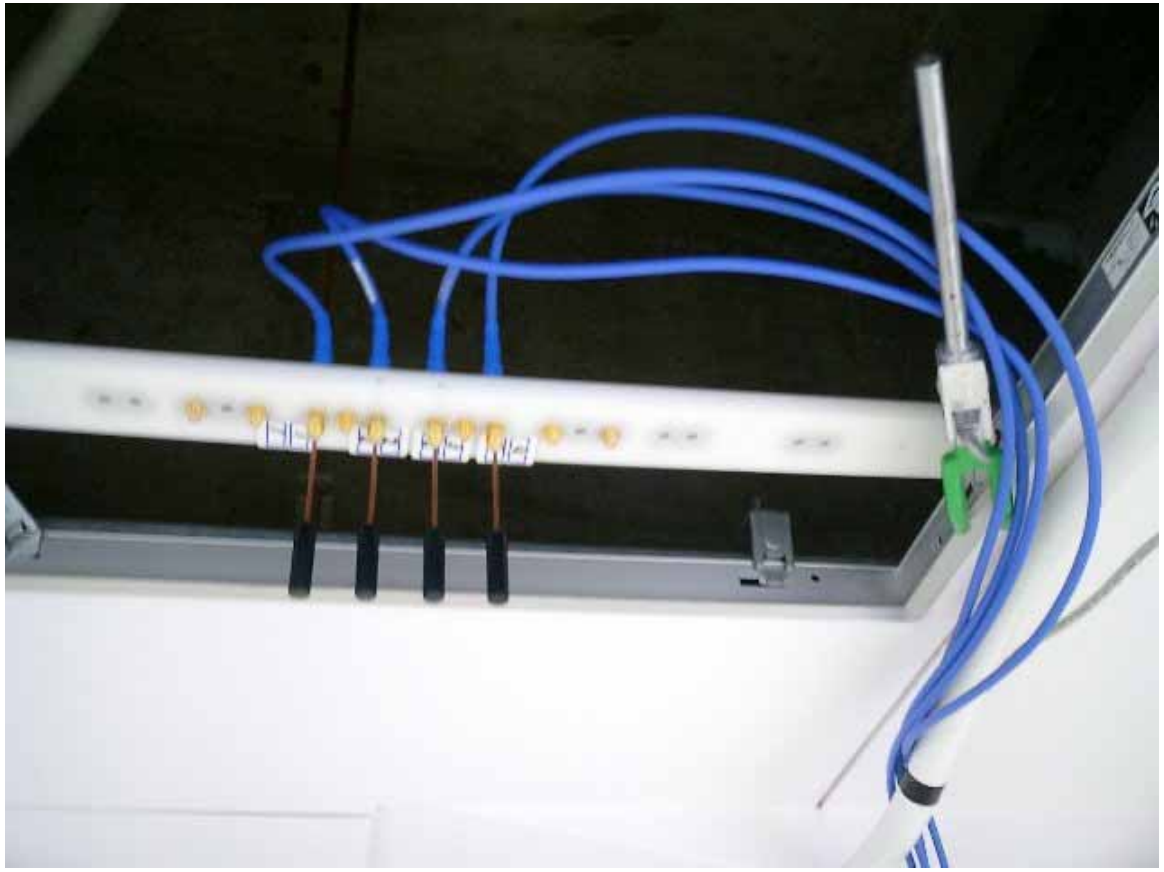
- 多数の送信機と受信機を効率的に適応的に使います。
- 干渉を克服し、安定な通信品質を確保します。
- 伝送速度も上がります。

Radio systems are evolving ...

Radio air interface development in 3GPP track



送信（AP）アレーアンテナ



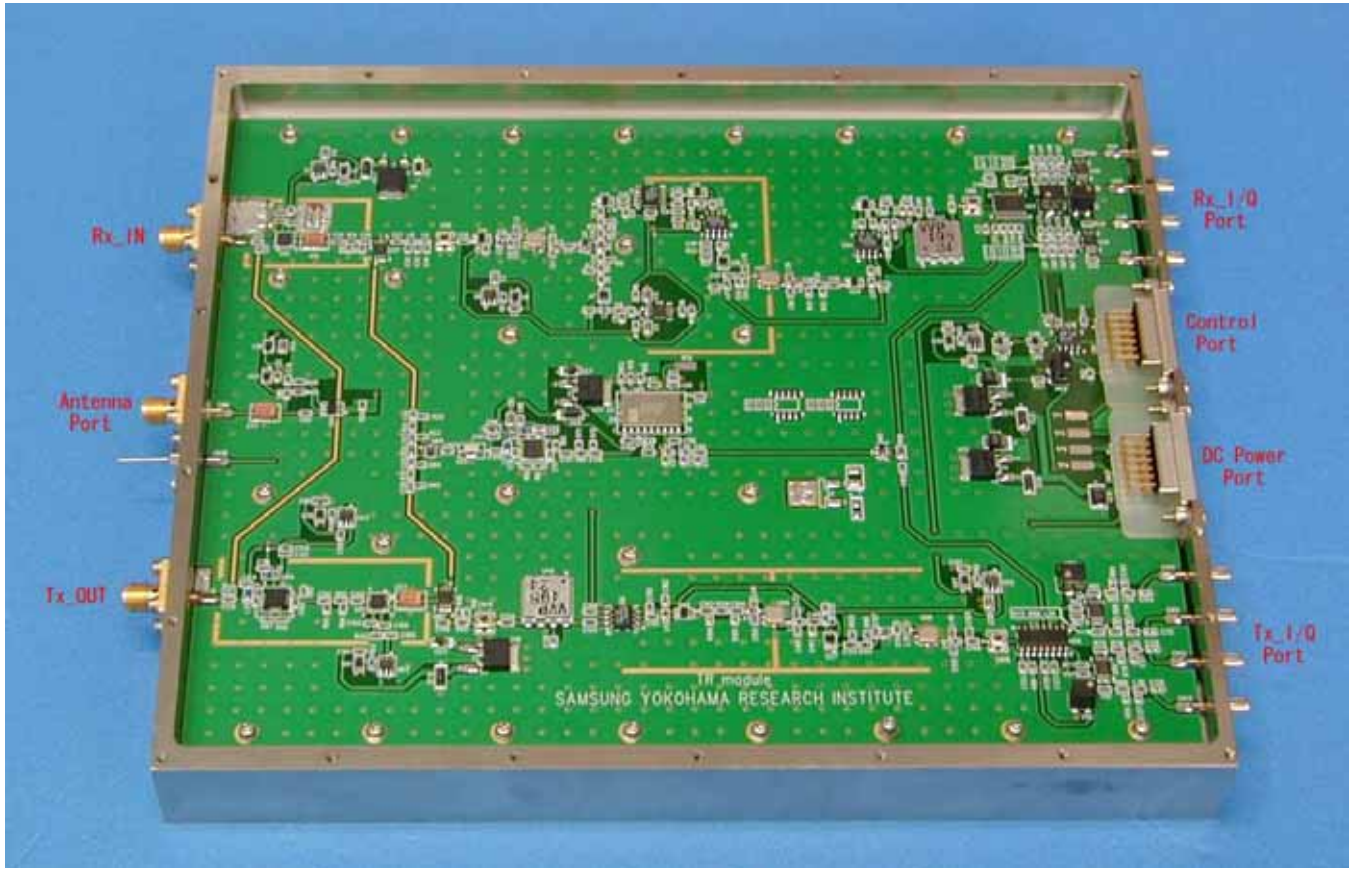
2008/10/3

受信 (UT) アレーアンテナ

5GHz帯トランシーバ

RF IN

RF OUT



BB OUT

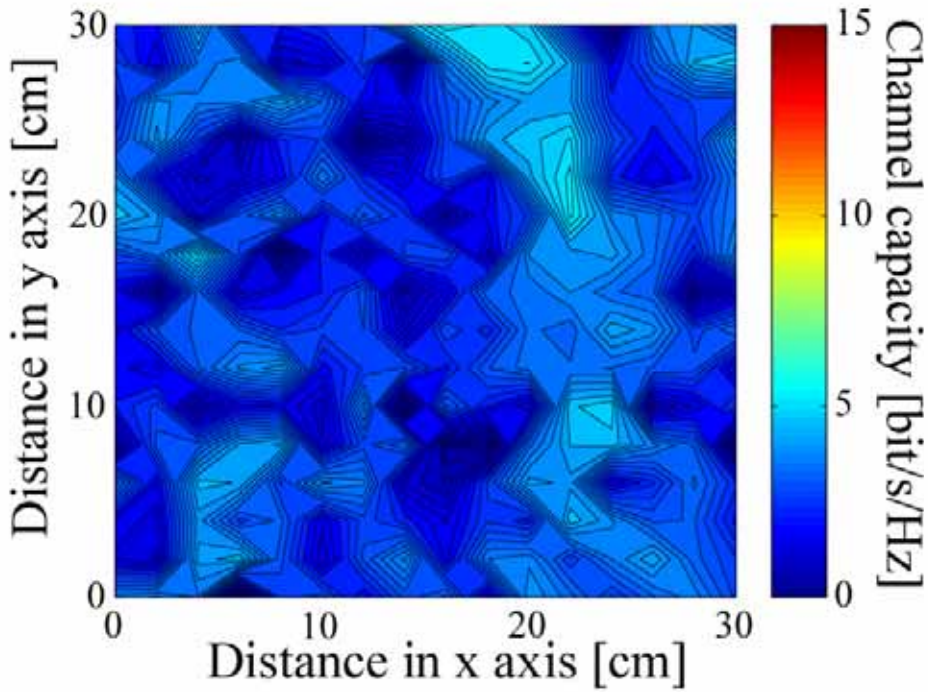
BB IN

サムスン横浜研究所提供

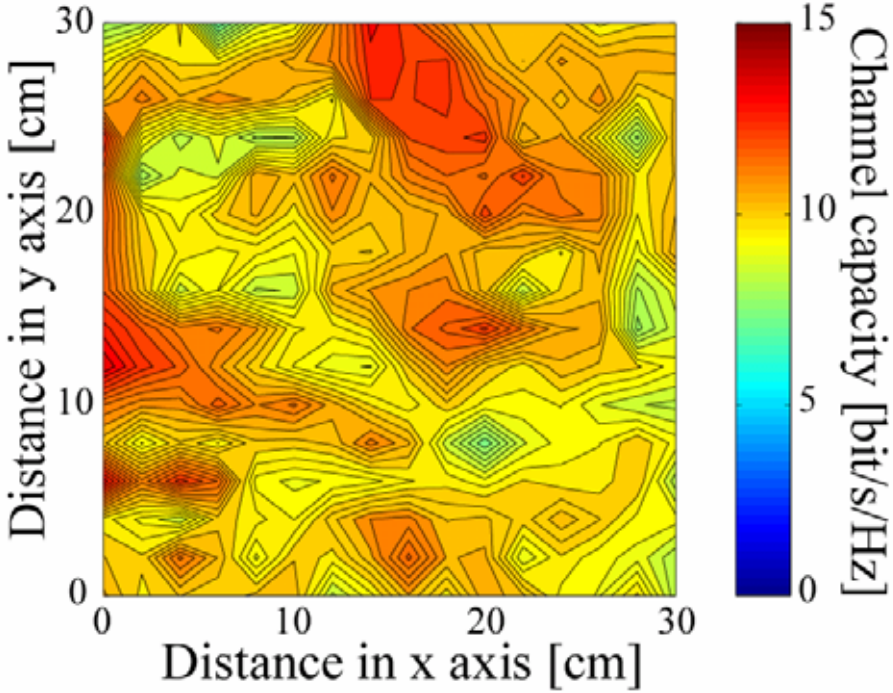
伝送容量分布

✓ MIMO導入による伝送容量の増加

SISO@SNR=10[dB]

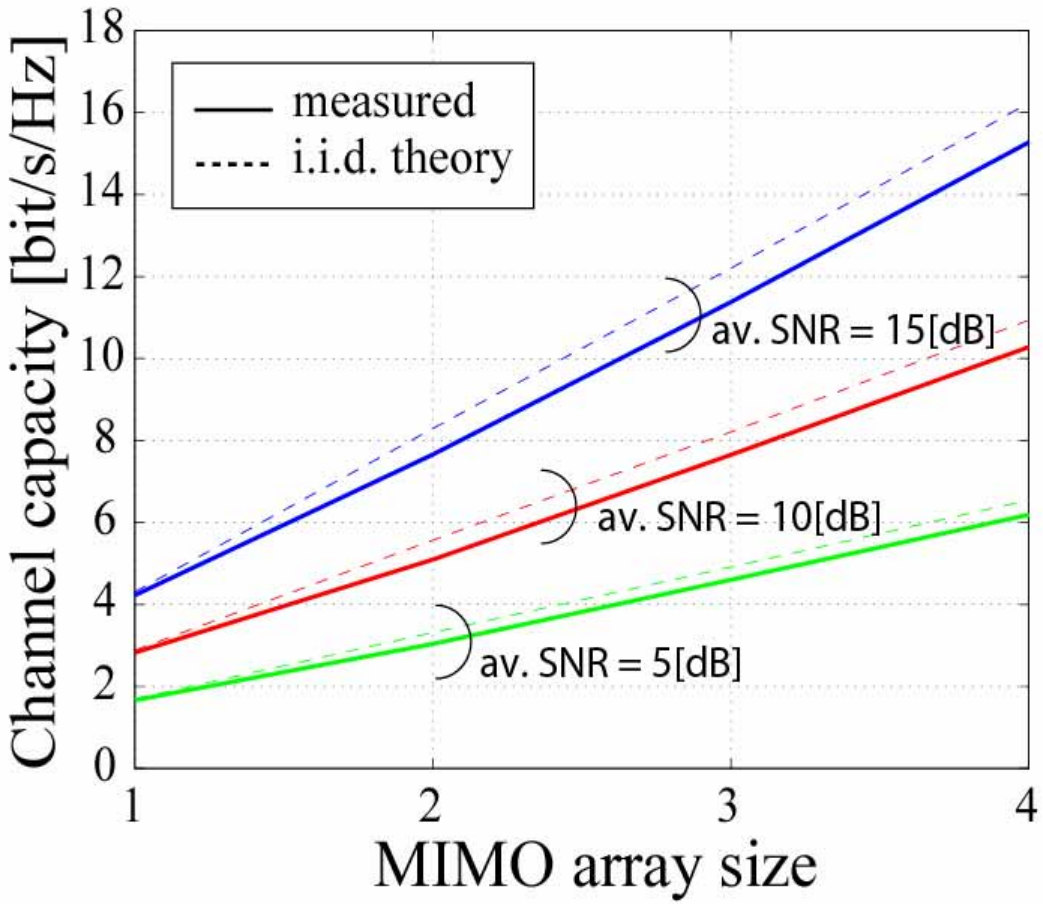


MIMO@SNR=10[dB]



アンテナ素子数対平均伝送容量

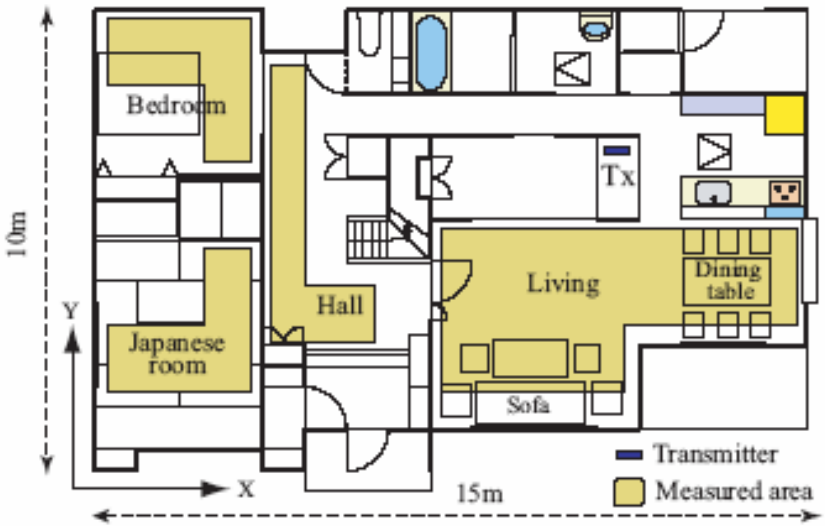
✓ 実環境においてもMIMO伝送容量はアンテナ素子数に比例



一戸建て住宅環境における測定

- これまで
  - ✓ MIMOチャネルの測定は小さなエリアもしくは少ないサンプル数に制限
- この研究
  - ✓ 新たに開発したMIMOソフトウェア無線機＋ポジショナを用いて広範囲に渡って連続的なMIMOチャネル測定を実現

Pana Home



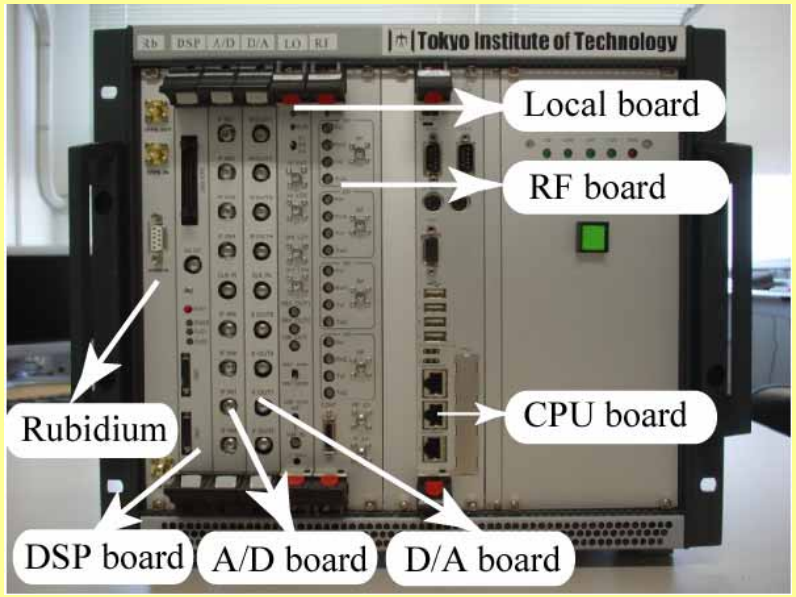
1階見取り図と測定エリア

MIMOソフトウェア無線機

- ✓ 5GHz帯4×4MIMOトランシーバ (オールインワン)
- ✓ 中心周波数と出力電力が限られた範囲で可変
- ✓ リコンフィギャブルベースバンド信号処理プロセッサ

4 element array antenna

cPCI6U chassis



MIMO Software Defined Radio

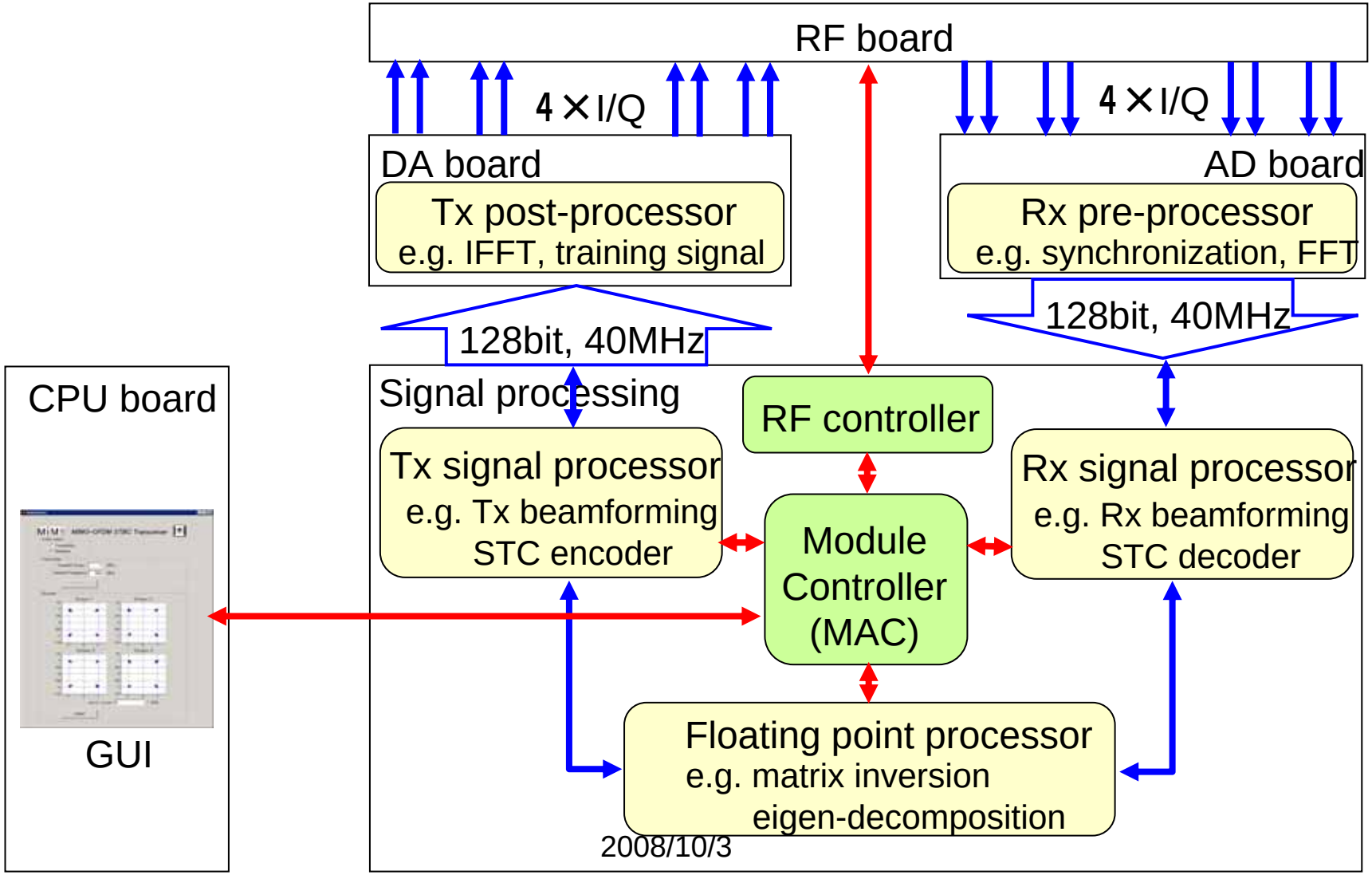
RF board
- Frequency 5040〜5230MHz
- Tx power -30〜16dBm
- Bandwidth 20MHz

AD board
- 14bit, 80MHz ADC×8
- 2MGates Virtex-II FPGA×5

DA board
- 14bit, 80MHz DAC×8
- 2MGates Virtex-II FPGA×5

Signal processing board
- 600MFlops DSP×4
- 2MGates Virtex-II FPGA×3

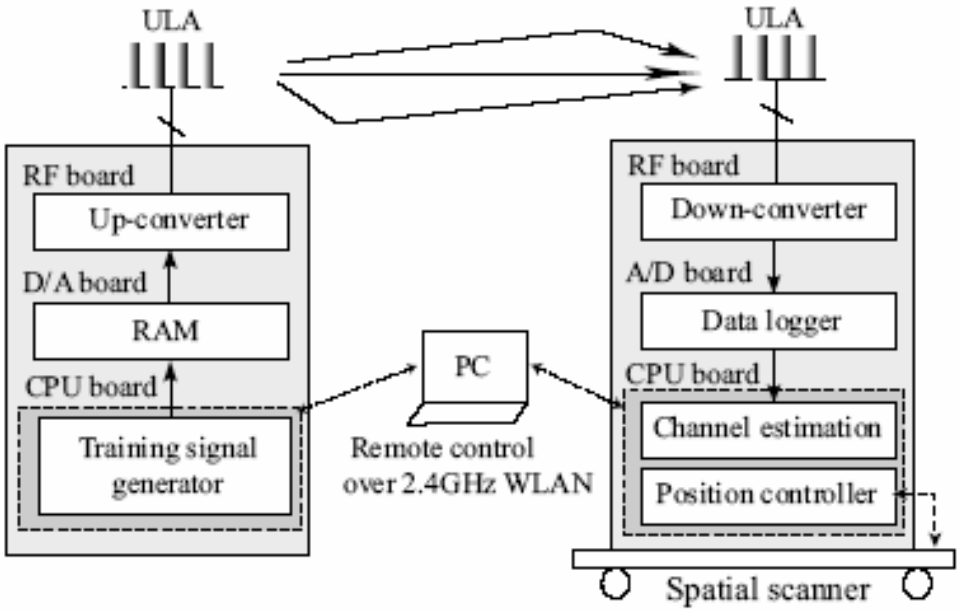
MIMO信号処理実装アーキテクチャ



測定システム

- ✓ MIMOソフトウェア無線機にMIMO-OFDM伝搬測定ファームウェアを実装
- ✓ 受信アレーアンテナと受信機はポジショナ上に設置 (広範囲な測定を実現)
- ✓ 机やベッドの上なども連続的にスキャン可能

測定システム



Tx

Rx

ポジショナ

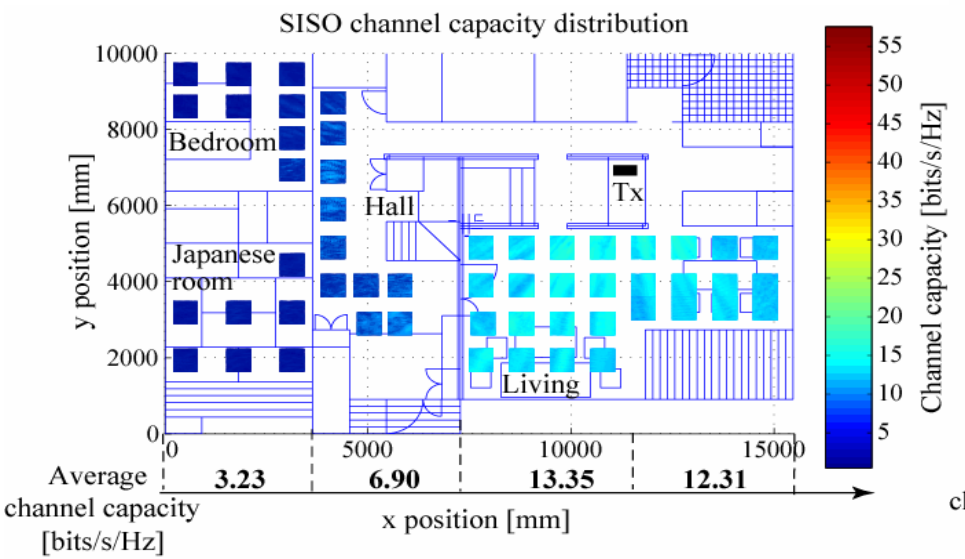
測定システム諸元

MIMO 構成	4(Tx) x 4(Rx)
アレー構成	半波長間隔4素子アレー
アンテナ素子	垂直スリーブダイポール
中心周波数	5.06 GHz
帯域幅	20 MHz
総送信電力	0 dBm
NF	7 dB typical
トレーニング信号	拡張 IEEE802.11a プリアンブル
トレーニング長	64 OFDM symbols
測定ポイント数	55,738 (2cm ステップ)
測定時間	500 ms / point

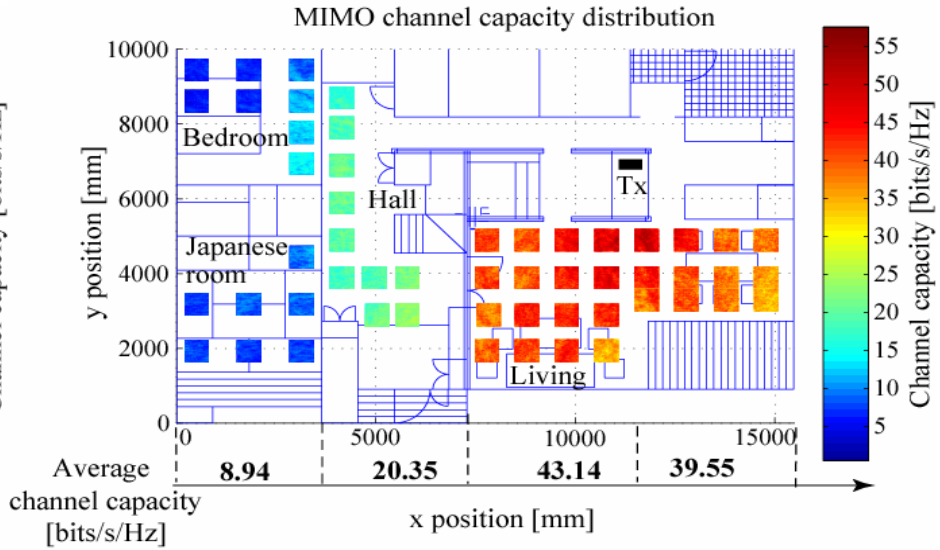
伝送容量分布特性

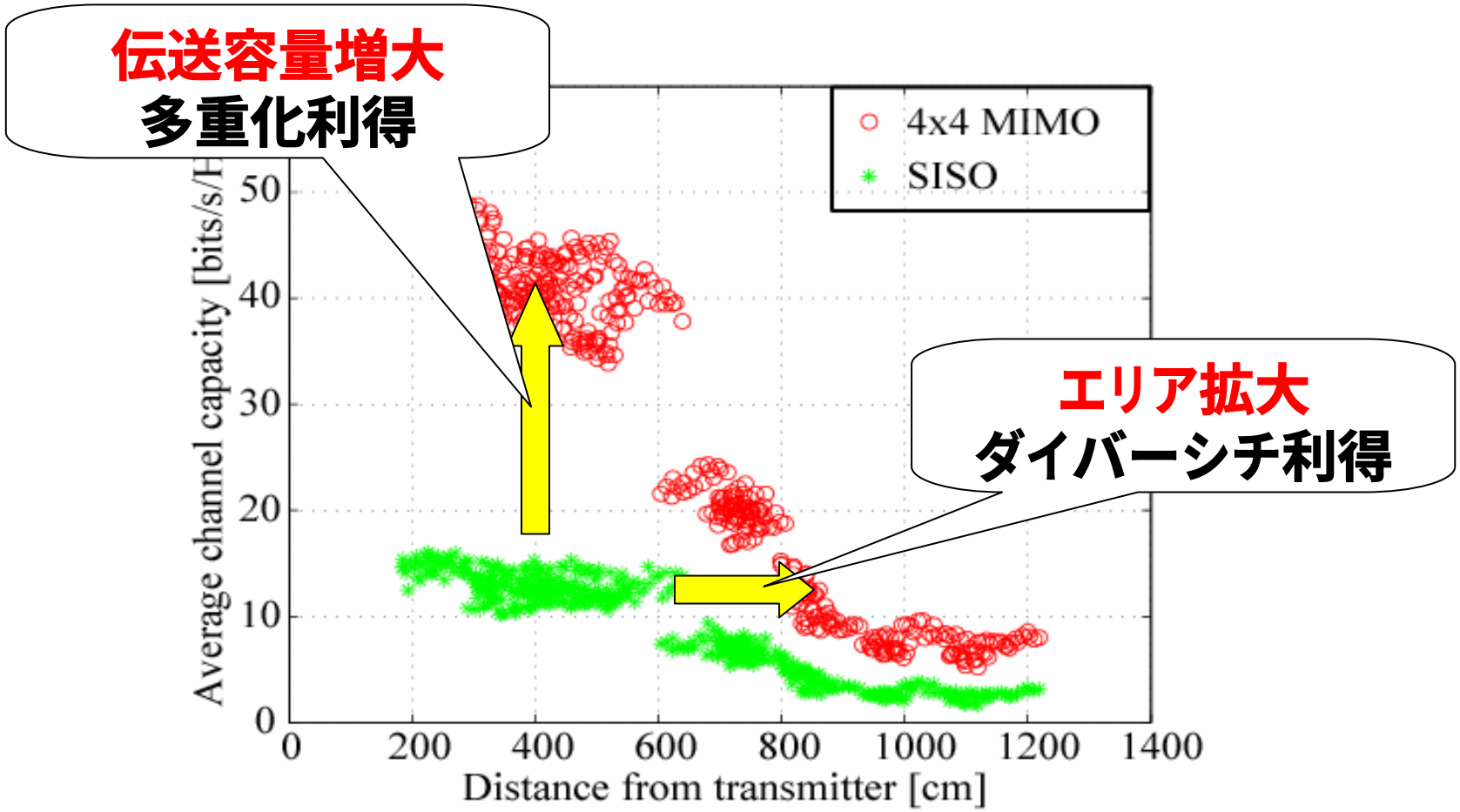
✓ SNRの高いリビングルームで
MIMO導入による大幅な伝送容量特性の改善

SISO



MIMO



距離対伝送容量特性

✓ 実環境においてもMIMOを用いることで
伝送容量が増大し，エリアカバレッジが拡大している