

文科省・数学イノベーション委員会  
2013年6月4日

内閣府／日本学術振興会 最先端研究開発支援プログラム

# 複雑系数理モデル学の基礎理論構築と その分野横断的科学技术応用

[FIRST 合原最先端数理モデルプロジェクト]

合原一幸

東京大学 生産技術研究所

東京大学最先端数理モデル連携研究センター

東京大学 大学院情報理工学系研究科 数理情報学専攻

東京大学 大学院工学系研究科 電気系工学



# 数理工学で実世界の複雑系に挑む！

## 背景

脳, 生命, 健康, 癌, 免疫, 新興・再興感染症, 環境, エネルギー・電力, 情報, 通信, 交通, 経済, 地震等々の21世紀の重要課題  
↳ 複雑系の問題として, とらえることができる

## 本研究課題

数理工学、カオス工学に立脚した最先端数理モデリングと数理解析を駆使して, 様々な複雑系問題解決のために, 複雑系数理モデル学の基礎理論と分野横断的科学技术への実学応用の基盤を作る

## 出口

複雑系数理モデル学に基づいた, 多彩な実学応用を拓く複雑システム  
科学技术イノベーションの確立



# 実現象の数理モデリングと数理解析 (数理工学の方法論)

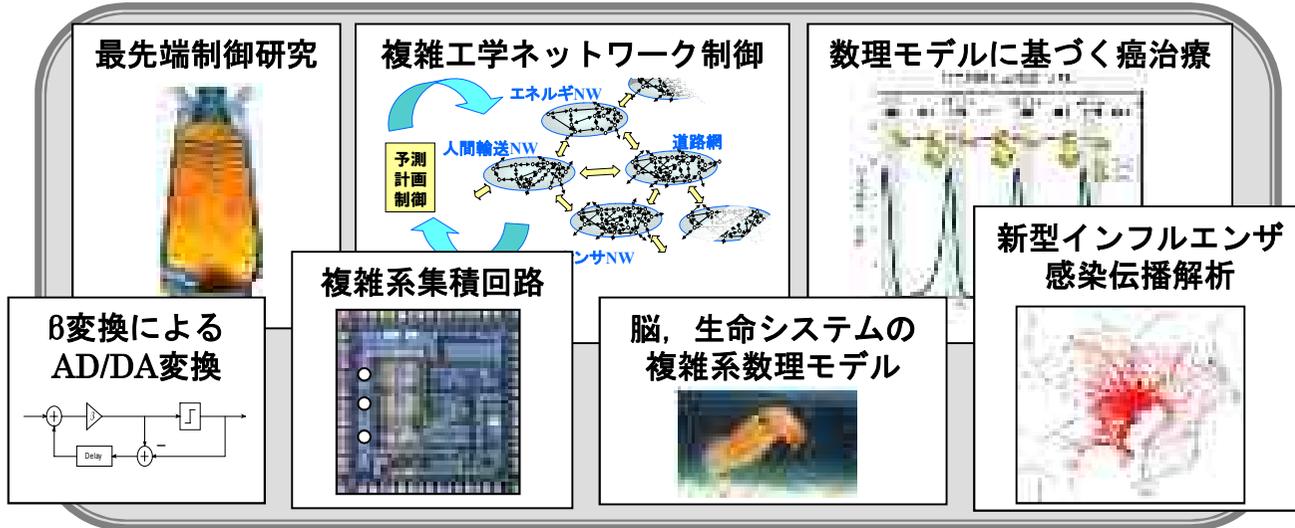


内閣府 最先端研究開発支援プログラム

# 複雑系数理モデル学の基礎理論構築とその分野横断的科学技术応用

中心研究者 合原一幸 (東京大学)

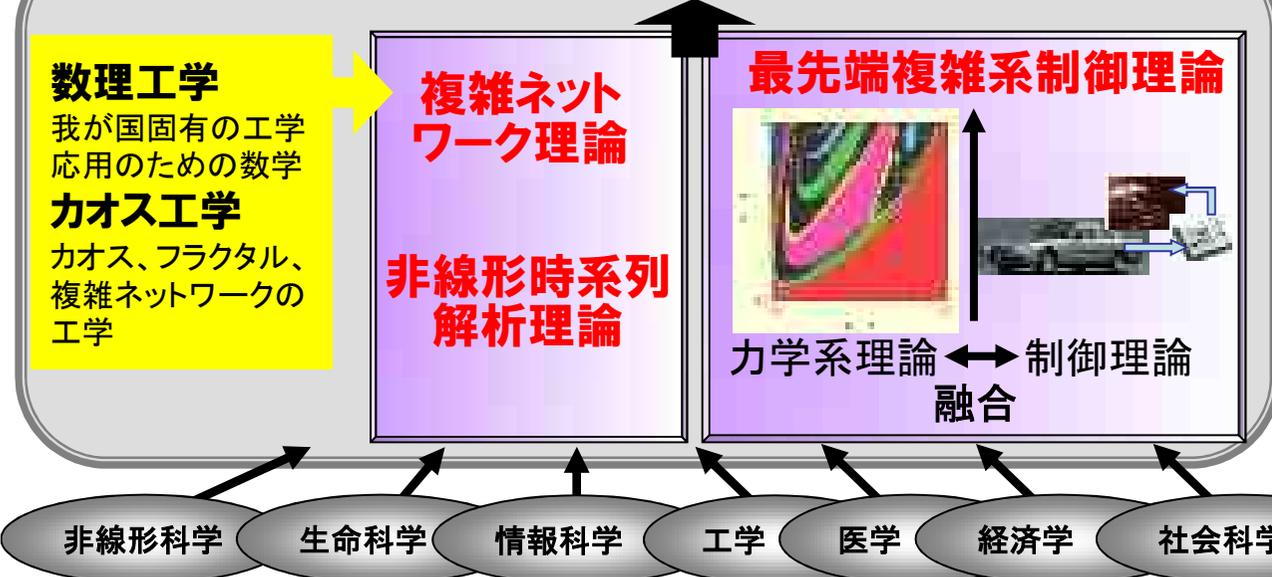
## 複雑系数理モデル学の分野横断的科学技术応用研究



## 複雑系数理モデル学の基礎研究

基礎研究と  
応用研究の相互作用

### 複雑系数理モデル学の基礎理論構築: 分野横断型科学技術の核



分野横断的複雑系科学技術に基づいて、**社会的緊急性**が高く、かつ**産業上の重要性・必要性**が大きい諸問題の解決を目指す。

■ 数理モデルの**癌治療**や**投薬最適化**への応用

■ **新型インフルエンザ**や**バイオテロ**の数理解析とワクチン接種計画最適化などの**諸対策**への応用

■ 複雑系科学技術による**製造業再生とエネルギー効率向上**のための基盤構築

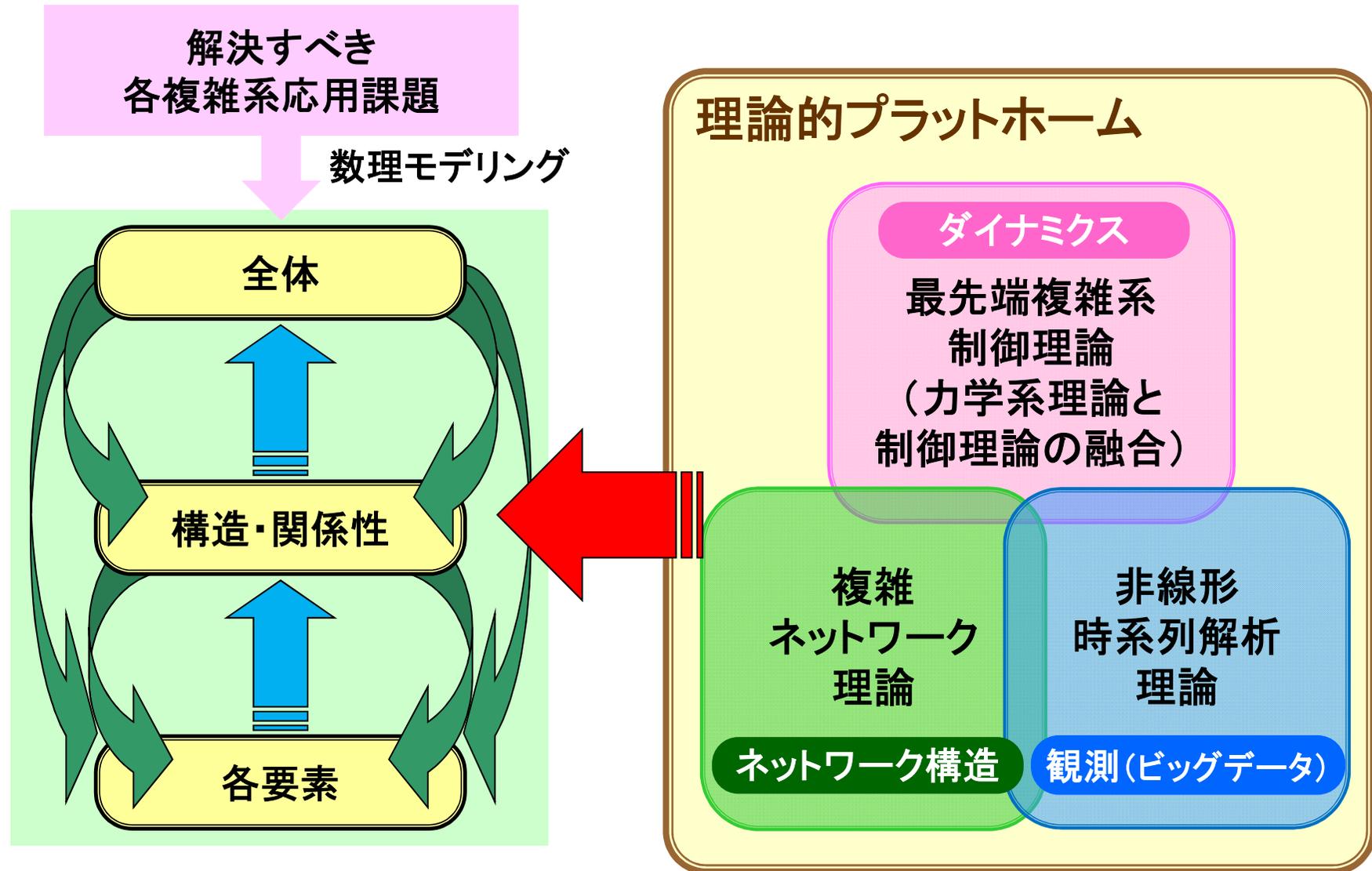
■ 全く新しい**非線形原理**に基づく**AD/DA変換器**、**複雑系集積回路**、**脳型計算技術**などの複雑系情報処理技術の確立

■ 複雑ネットワーク理論に基づく**交通流**、**高度複雑系通信ネットワーク**や**電力ネットワーク**の制御

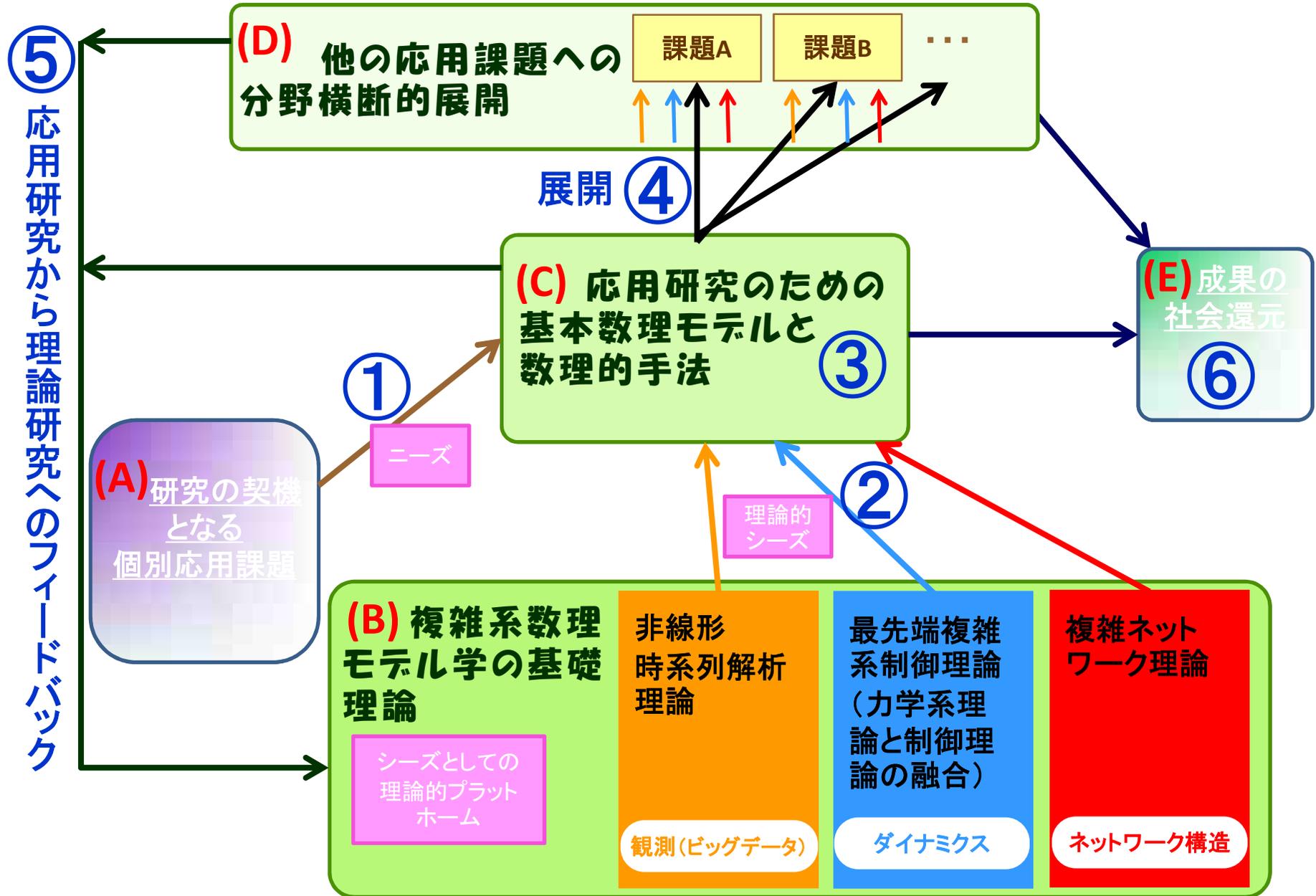
■ **環境予測技術**とその**電力・エネルギーシステム**への応用

■ **脳**、**生命システム**の複雑系数理モデルと**BMI**、**ロボット**、**医療**への応用

■ **経済変動の複雑性**の解明



複雑系数理モデル学の理論的プラットフォーム



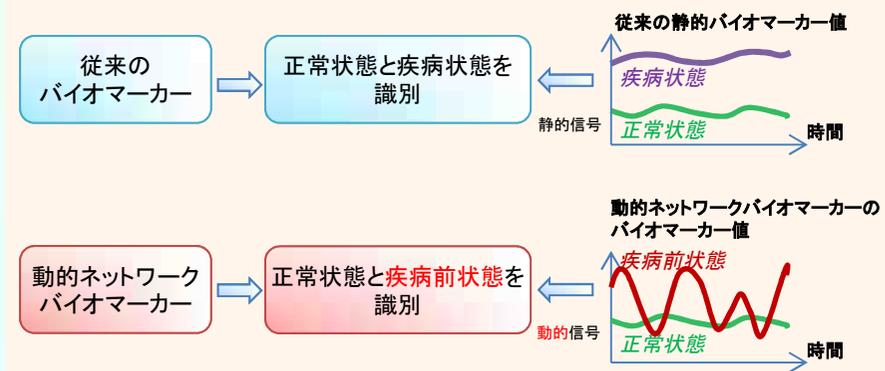
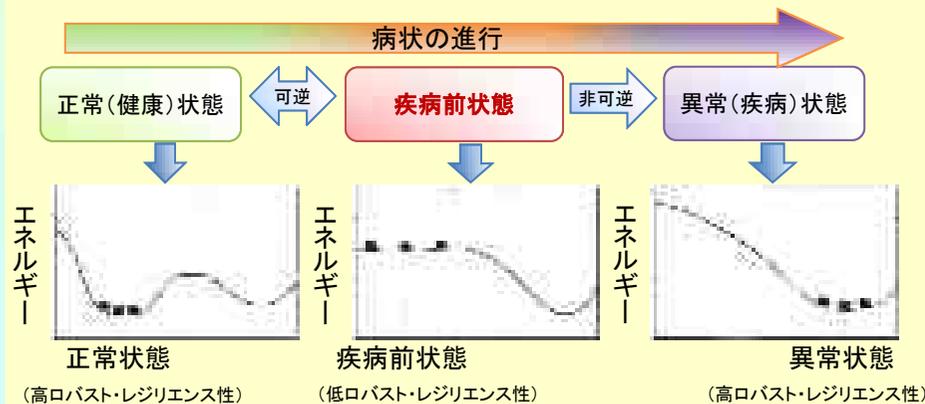
本FIRSTプロジェクトの研究プロセスの基本構造



## 動的ネットワークバイオマーカーの概念の導出

**従来の問題点:** 単独バイオマーカーの限界,  
病態悪化の予兆検出可能なバイオマーカーは未発見。

個々のバイオマーカーとしての性能はそれ程高くなくてもネットワークとしては極めて高機能で、様々の難病において病態悪化の予兆検出が可能な、全く新しいネットワークバイオマーカーの概念を提案した（特願2012-211921, 特願2012-233886; *Scientific Reports*, **2**, 342, 2012; **2**, 423, 2012）。



種々の疾病のみならず、電力システム、高炉、経済データの不安定化等、様々な複雑ネットワーク不安定化予兆検出への応用が可能。



# 数理モデルに基づく前立腺癌のテーラーメイド 間欠的内分泌療法の開発

**従来の問題点:**どの患者に間欠療法を適用すべきか？  
どのような治療スケジュールが最適か？が不明であった。

ハイブリッドシステムの基礎研究に基づき、本格的臨床応用に向けて間欠療法に適した患者の選定法、投薬の最適化手法、さらには予後予測を行う手法を開発した。また、これまでのカナダの症例に加えて日本とアメリカの症例の解析を行ない、より多くのデータを蓄積した (*Phil. Trans. Roy. Soc. A*, **368**, 1930, 2010; *Chaos*, **20**, 045125, 2010; *Chaos*, **21**, 043121, 2011; *Asian Journal of Andrology*, **14**, 2012; *J. Mol. Cell Biol.*, **4**, 2012 他)。

同様の疾患数理モデリングのHIV感染症、B型、C型肝炎や低放射線量長期被曝による癌化過程などへの応用。

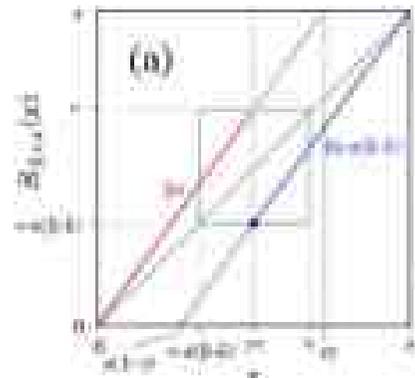


## $\beta$ 写像の基礎理論と $\beta$ -A/D変換器の提案・実装

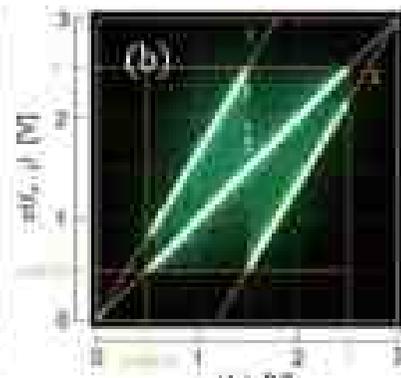
**従来の問題点:** 集積回路の超微小化に伴なう、 $\beta=2$  (2進展開) を回路精度を上げて実現する設計指針の限界。



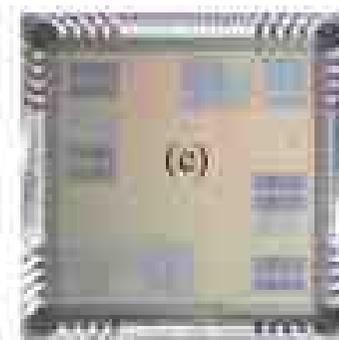
劣特性の微細素子で高性能な A/D変換器を実現するために、これまでの2進展開とは原理的に異なる、実数基底 ( $\beta \in (1, 2]$ ) による展開を用いた  $\beta$ -A/D変換器を数学的に提案し、集積回路化した(特願2011-207602, 特願2013-7928; IJBC, 22(9), 1230031 (2012))。さらに超ロバスト設計論として一般化した。



$\beta$ 写像

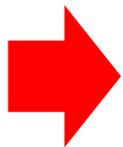


$\beta$ 写像カオストラクタ



$\beta$ -A/D変換器プロトタイプチップ

STARC(半導体理工学研究センター)のオープンプログラムとして、企業が参加して4月より実用化研究開始。さらに、超ロバスト設計論の電力, 通信, 交通流など複雑工学ネットワークの設計への応用を視野に入れ研究を進めている。



# 成果の社会還元に向けた方策等

- 前立腺癌の数理モデルに基づくテーラーメイド間欠的内分泌療法に関する研究

➡ 基礎的解析を終え、日米加間の共同研究で臨床応用可能なレベルに進展。HIV等、他の疾病に関する研究も開始。

- 再生可能エネルギー大量導入時の電力システムの安定性と制御の研究

➡ 各種事業への参加や JST・CREST研究 (JST・H24年度分散エネルギーCRESTに本PJメンバーから3件採択) などを通じて、電力会社や企業などとの具体的システム開発のための将来へ向けた体制作りを開始。

- 電気電子応用技術の基盤となるA/D変換器に関する研究

➡  $\beta$ -A/D変換回路についての基本特許を申請済み。実用製品の開発を国内半導体集積回路メーカーと行うため、STARC(半導体理工学研究センター)を通して共同開発中。

- 地震予報のETASモデルおよびその改良モデルの研究

➡ 地震活動の標準モデルとして国際的に認知され、昨年秋からカリフォルニア地震予測計画 (UCERF3 project) でも採用。高精度余震予測手法を東大から特許申請。