



21世紀COEプログラム



動的機能機械システムの数理モデルと設計論

－複雑系機械工学の構築－

中間報告(050511)

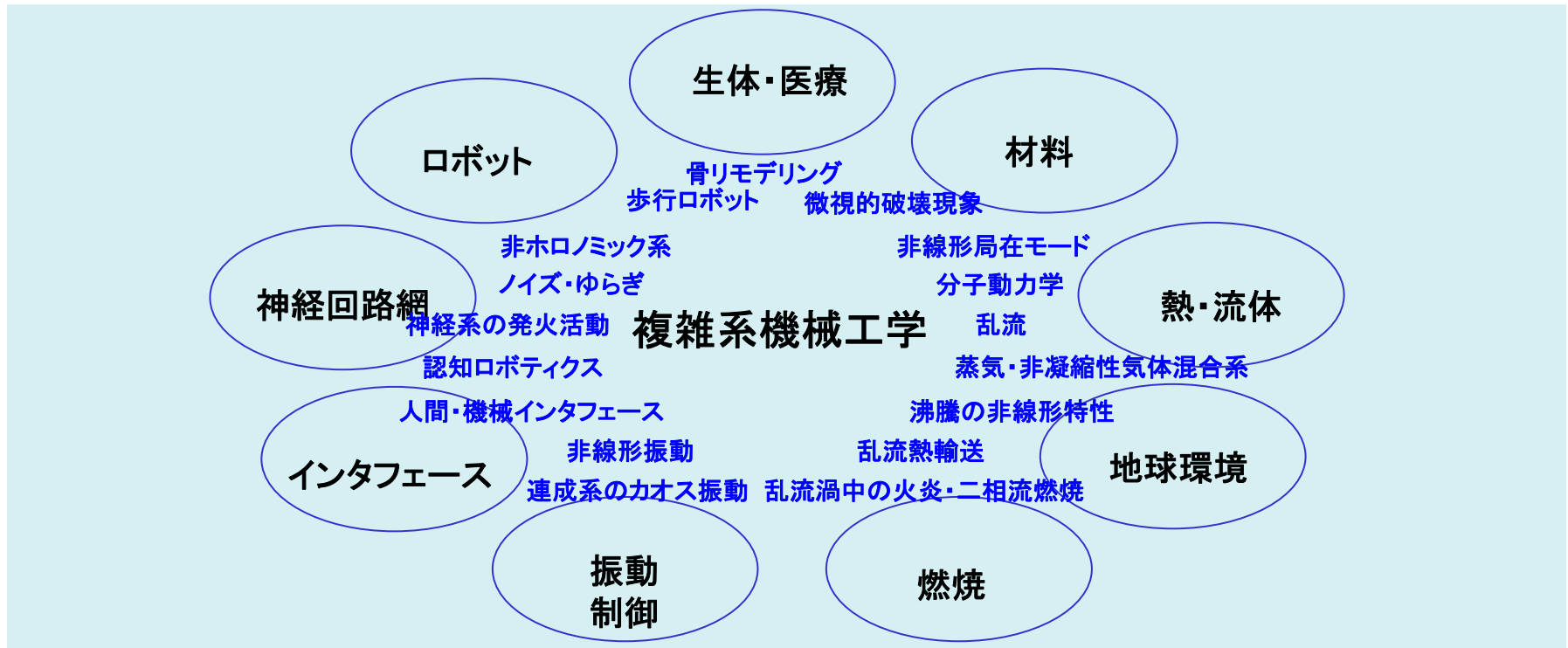
京都大学

工学研究科 機械理工学専攻、マイクロエンジニアリング専攻、
航空宇宙工学専攻

情報学研究科 複雑系科学専攻
国際融合創造センター

拠点リーダー 土屋和雄（工学研究科 航空宇宙工学専攻）

1. 「複雑系機械工学」



「複雑系機械工学」は
複雑な機械現象、機械システムを
「複雑さ」の視点から研究する横断型研究分野である

2. 「複雑系機械工学」は 統一的な研究課題を持った 体系的な研究分野となりうるか

次の特徴的な性質(複雑さ)を持つ

「複雑な機械システム」を研究対象とする

(1) 複雑な挙動を生み出す骨格となる構造が存在する

(2) 骨格構造は固定的ではなく、自発的に形成される

「複雑な機械システム」を

研究対象として次の研究課題を研究する

(1) 「複雑さ」を具体的に解明し、モデル化する

(2) 「複雑さ」を制御し、活用する方法を確立する

3. 複雑系機械工学の体系

研究対象

1. 複雑な機械システム

- ・複雑な挙動の背後に単純な法則性、骨格となる構造を持つ
- ・自発的な構造形成をとおして環境に適応する能力を持つ

研究課題

1. 複雑さの解明

- ・骨格となる構造を抽出してモデル化する
- ・自発的構造変化による環境適応機構を解明する

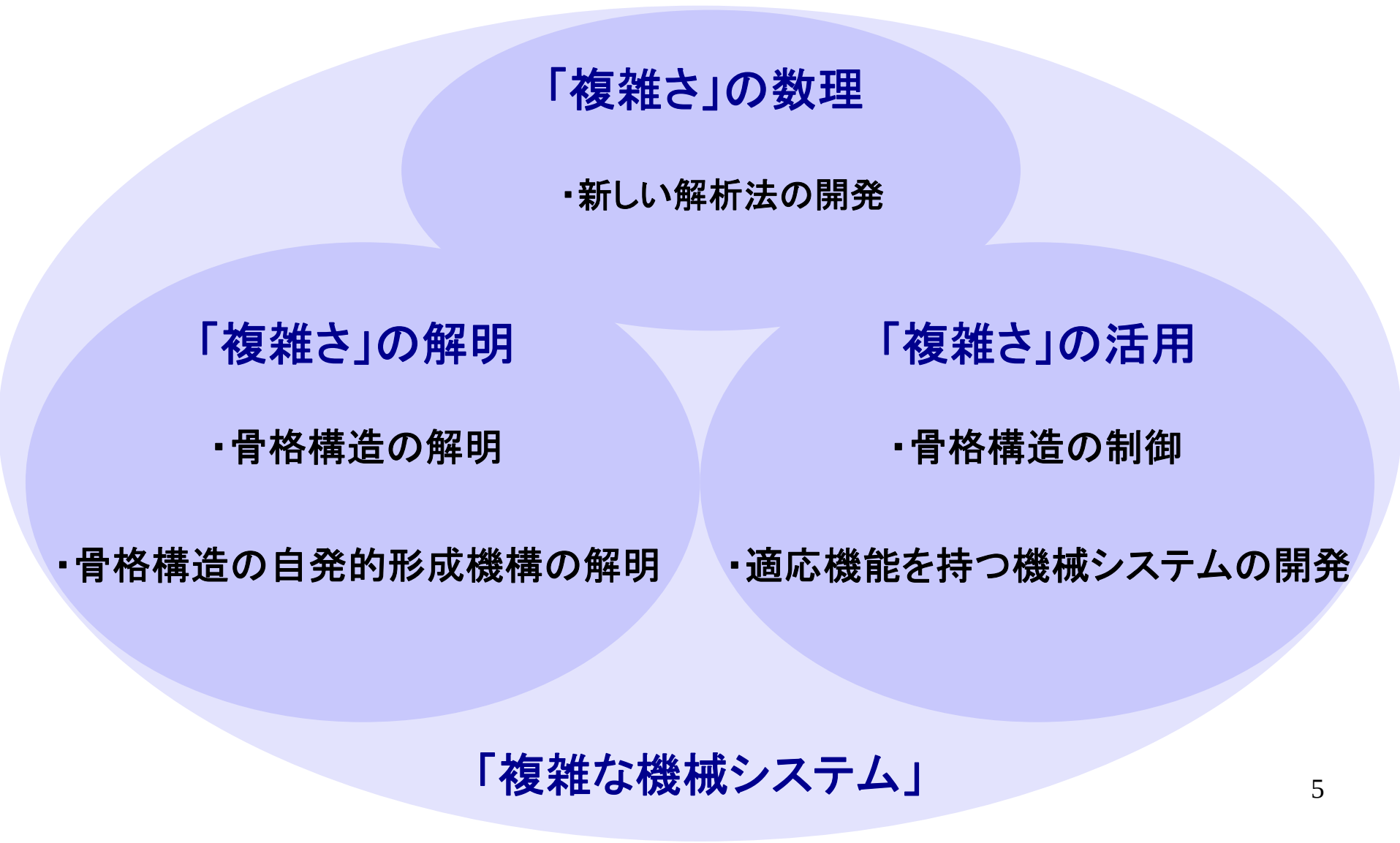
2. 複雑さの活用

- ・骨格構造を制御することにより複雑さを制御する
- ・適応機能をもつ機械システムを開発する

3. 複雑さの数理

- ・複雑な現象の新しい解析法を開発する

3. 「複雑系機械工学」の体系



21世紀COEプログラム
「動的機能機械システムの数理モデルと設計論」
— 複雑系の科学による機械工学の新たな展開 —

平成16年度 研究成果報告書



京都大学 工学研究科 機械工学専攻
工学研究科 機械物理工学専攻
工学研究科 精密工学専攻
工学研究科 航空宇宙工学専攻
情報学研究科 複雑系科学専攻
国際融合創造センター

平成17年3月

目次

第1章	まえがき
	動的機能機械システムの数理モデルと設計論 — 複雑系機械工学 —
第2章	複雑な機械システムのモデリング
2.1	乱流の構造解析とそれに基づくモデル化
2.2	大気・海洋境界面における物質輸送機構の解明と その輸送システムのモデリング
2.3	非線形局在モードの準粒子モデルと アモルファス部材の動特性解析
第3章	複雑な機械システムの機能解析
3.1	神経細胞の確率過程によるモデル化と 確率共鳴による信号検出機構の解明
3.2	神経活動のネットワークにおける同期発火現象の解明と その機能的役割
3.3	骨リモデリングとマルチスケールバイオメカニクス
第4章	複雑な機械システムの制御と設計論
4.1	脚歩行ロボットの環境変化に対する適応的歩行機能の実現
4.2	適応機能を持つ機械・人間インタフェースの設計
4.3	自律適応機能を持つ生体の環境設計
第5章	複雑系の数理解析
5.1	無限RC-ネットワークの解析
5.2	動的縮約と力学モデルの構成
5.3	ボルツマン方程式の漸近解析と流体力学極限
5.4	分岐理論に基づくせん断流の構造形成の解析
5.5	多倍長数値計算を利用した逆問題の数値解析

5. 拠点運営

研究目標

- ・新しい横断型研究分野「複雑系機械工学」の創成

上記研究目標達成のため
次の拠点運営方針を採用する

- (1) 基礎研究型共同研究として推進する
- (2) 研究者間の学際的研究交流の場をもうける

6. 学際的研究交流の取り組み

- (1) 招聘研究者制度を充実し、セミナーを日常化する
- (2) アドバイザー制度をもとに学際的討論の場を設ける
- (3) 学際的共同研究グループを組織し、
桂インテックセンターに研究拠点を置く
- (4) 国際的研究交流ネットワークを組織化する
- (5) 国際応用システム解析研究所(IIASA)を
海外研究拠点として、国際的情報発信を行う

(3) 学際的共同研究(桂インテックセンター)

1. 流体領域高等研究院

- ・複雑流体科学に関する専攻、研究科を越えた共同研究グループ
- ・大気海洋シミュレーション風波水槽(長さ 30m、幅 0.6m)を設置



2. スマートマテリアルラボ

- ・骨リモデリングの解明と骨修復材料の開発を目的とした研究グループ



(4) 国際的研究交流ネットワーク

本拠点を中核として、研究交流ネットワークを形成し、
国際ワークショップの開催を中心とした
国際的研究交流活動を行う。

研究交流ネットワーク

- ・複雑システム論：ミュンヘン工科大学、IIASA、リンシェーピン大学
- ・人間・機械システム論：ソウル大学、KAIST、コリア大学
- ・乱流の構造解析と制御：インペリアルカレッジ、アストン大学
- ・乱流輸送と大気・海洋モデル：ロンドン大学、コロンビア大学、NOAA、カルフォルニア大学、中国海洋大学
- ・複雑流体のモデル化：ツールーズ第3大学、ボルドー第1大学
- ・バイオメカニクス：ハンブルグ大学、ミシガン大学
- ・マイクロメカニクス：ミシガン大学、フライブルク大学

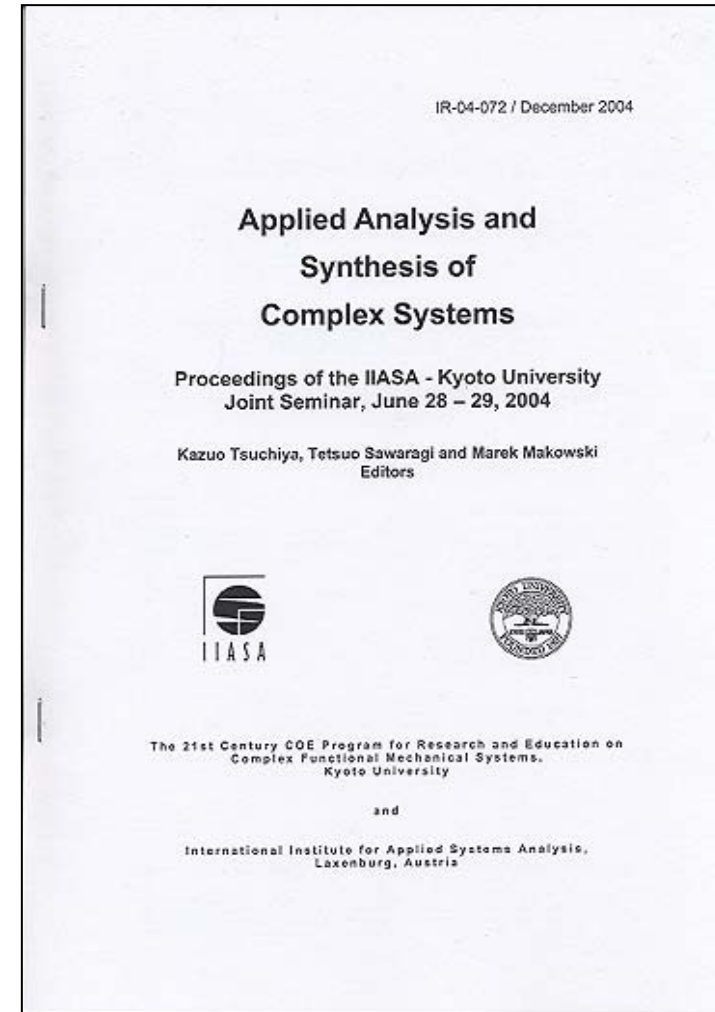
(5) 海外研究拠点

1. 国際応用システム解析研究所 (IIASA)

- ・世界18ヶ国共同運営のシステム科学に関する国際研究所

2. 21世紀COE国際ワークショップの開催

- ・本拠点活動の紹介
- ・招聘海外著名研究者による活動評価
- ・会議録はIIASA-Reportとして全世界に発信



(6) 研究成果と評価

研究成果

- ・学術論文: 211編(総論文数396編)
- ・国際会議論文: 201編(総論文数344編)
- ・国際学会招待講演: 63件
- ・主催国際研究集会: 14回
- ・海外招聘研究者: 66名
- ・セミナー: 98回

評価

(1) 自己評価

- ・「複雑系機械工学」の枠組みを確立し、活発な研究活動を開始した

(2) 外部評価

- ・「複雑系機械工学」の枠組みは適切であり、研究レベルは高い
(評価・諮問委員、21世紀COE国際ワークショップ招聘研究者)

7. 若手研究者育成

育成目標

- ・新しい研究分野を切り拓く能力を持った若手研究者を育成する。

拠点形成の目標

- ・新しい研究分野「複雑系機械工学」の創成

育成方針

- ・「研究を通しての教育」(On-the-Research Training)

8. 若手研究者育成の取り組み

(1) 若手研究者の自主的研究を奨励・支援する 公募型研究助成制度 「フロンティア研究助成プログラム」

助成項目

- ・研究費助成制度
- ・海外派遣制度(武者修業プログラム)

実績

(1) 研究費助成

- ・平成15年度:40件(応募50件)
- ・平成16年度:37件(応募58件)

(2) 海外渡航助成

- ・平成15年度:3件
- ・平成16年度:8件

(2) 博士後期課程教育の充実

1. 「21世紀COE複雑系機械工学セミナー」

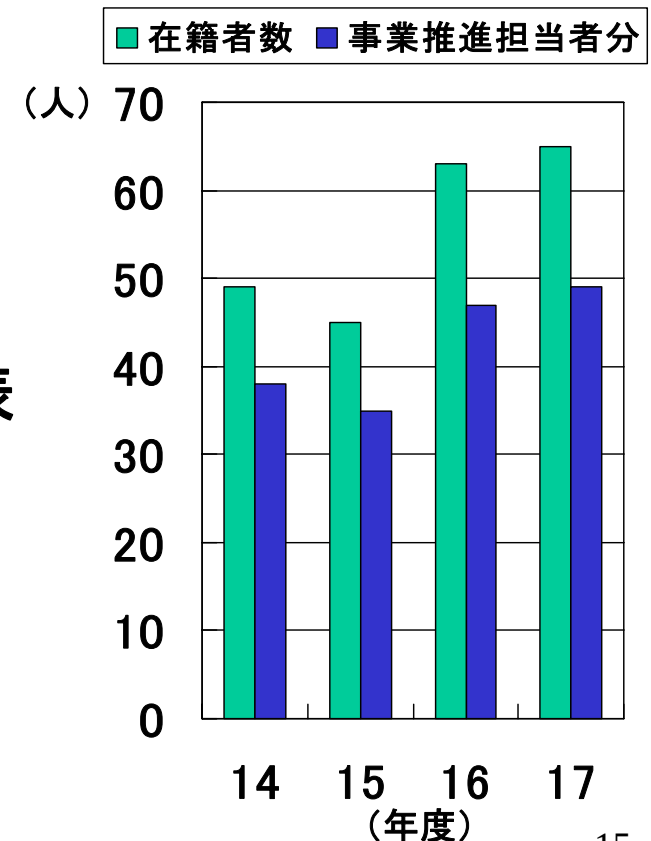
- ・前期、後期各1コマ開講
- ・英語による研究発表と討論
- ・招聘研究者による特別講義

2. 企業技術者・研究者との交流

- ・「複雑系機械工学セミナー」における企業技術者・研究者との討論
- ・「リカレントセミナー」における研究発表

3. RA制度

- ・平成15年度: 28名(在籍者45名)
- ・平成16年度: 37名(在籍者63名)



9. 将来計画：研究活動

(1) 本拠点活動の研究目標

- ・機械工学の新しい研究分野「複雑系機械工学」の構築

(2) 将来的な研究目標

- ・「複雑系機械工学」の研究対象を人間-機械システム、脳・認知科学へと広げた学際的共同研究を推進する
- ・「複雑系機械工学」の成果をもとに、
「力学」、「複雑さ」、「情報」を基礎概念とする
「新しい応用力学」を構築する

(3) 研究組織

- ・「複雑系領域高等研究院」を組織して、
桂インテックセンターに活動拠点を置く

10. 将来計画:大学院教育

(1) 基本的な考え方

- ・機械工学は成熟し、研究分野の細分化と専門化が進んでいる
- ・広い学問的視野を持った研究者・技術者の養成が必要である
- ・本拠点活動の成果をもとに「複雑系機械工学」の
大学院用教科書を編纂し、共通基盤科目として開講する

(3) 教育・研究組織の整備

- ・学際的教育・研究のため機械系専攻群を改組(平成17年度)
- ・構成
 - 中核専攻(機械理工学専攻)
 - 共通基盤研究分野の教育・研究を担当
 - 重点専攻(マイクロエンジニアリング専攻、航空宇宙工学専攻)
 - 重点研究分野の教育・研究を担当

11. 社会連携活動

拠点形成の研究活動

- ・基礎研究型共同研究プログラム

活動方針

- ・企業技術者の専門教育の重視

(1) リカレント講座 「複雑系機械工学」

- ・内容：
複雑系機械工学の講義・解説
博士課程学生を含む若手研究者の研究紹介
- ・場所：京都、大阪、東京、名古屋
- ・共催：京機会（機械系専攻同窓会）
- ・実績：8回

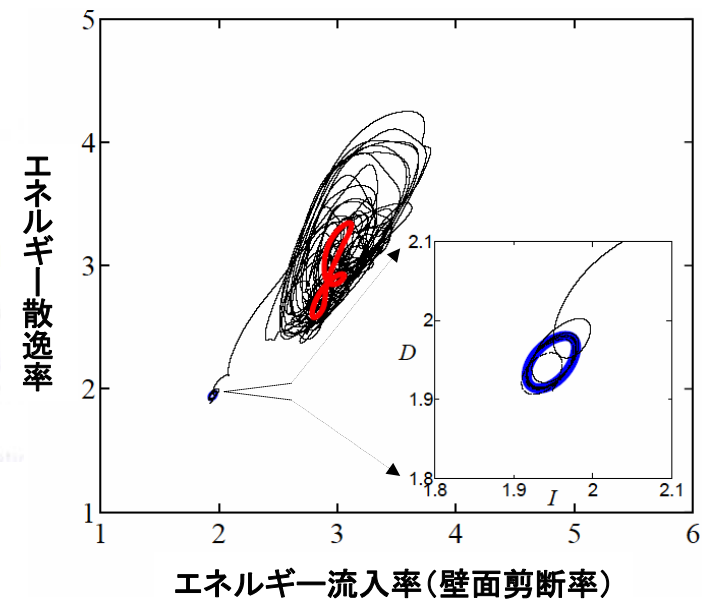
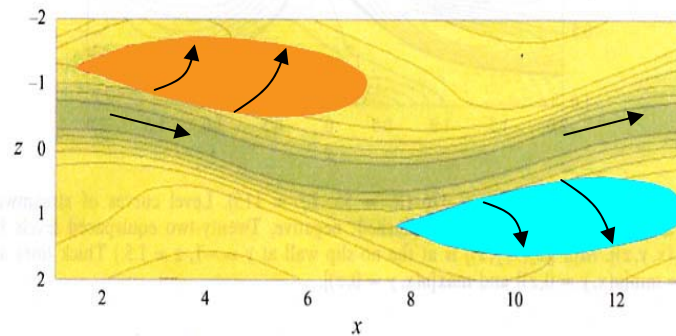
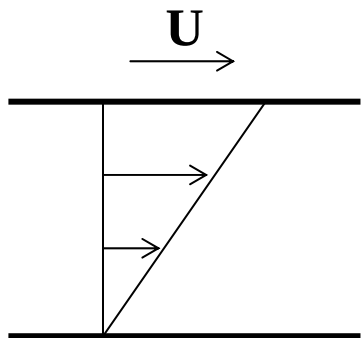
研究課題1：複雑な機械システムのモデリング

- ・複雑な振る舞いを支配する骨格構造が存在する
- ・予測・制御のための骨格構造のモデル化を行う

研究テーマ

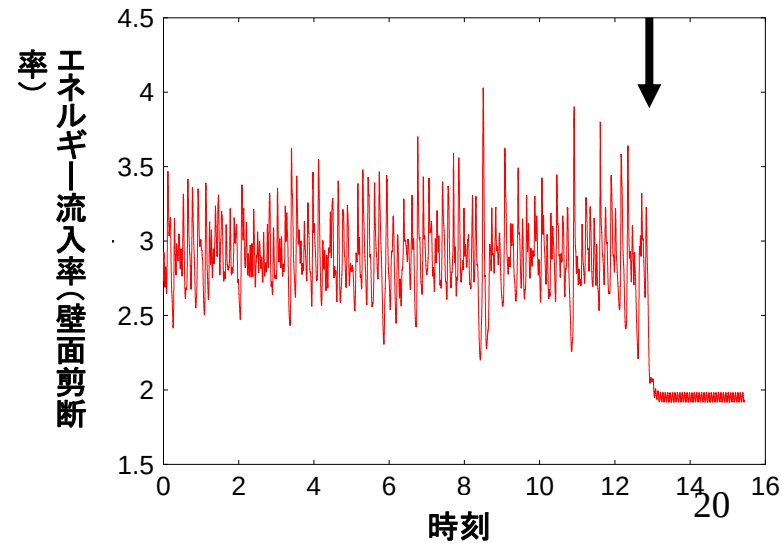
1. 乱流の骨格構造の解明と制御
2. 大気・海洋境界面における物質輸送機構の解明とそのモデリング

(1) 乱流の骨格構造の解明と制御



・ 研究課題

- (1) 乱流の骨格構造を明らかにする
- (2) 骨格構造を制御することにより、乱流の安定化を行う



(2) 大気・海洋境界面における物質輸送機構の解明とそのモデリング

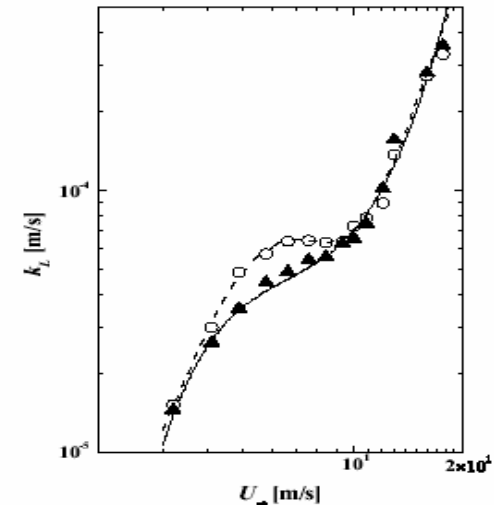
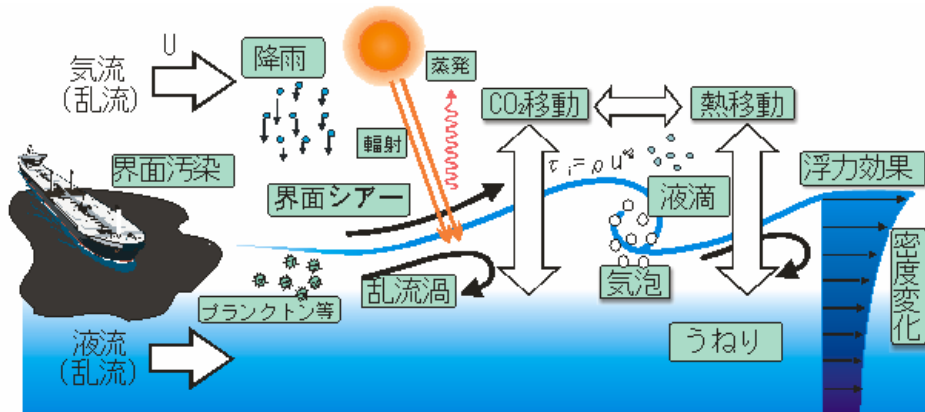


図 4: 物質移動係数 k_L 対 U_∞ ; ○, 純風波; ●, うねり風波

研究内容

- ・大気・海洋境界面の熱・物質輸送モデルの開発
(小森グループ)
- ・大気・海洋システムモデルの開発
(海洋研究開発機構 地球シミュレータセンター
複雑性シミュレーション研究グループ)

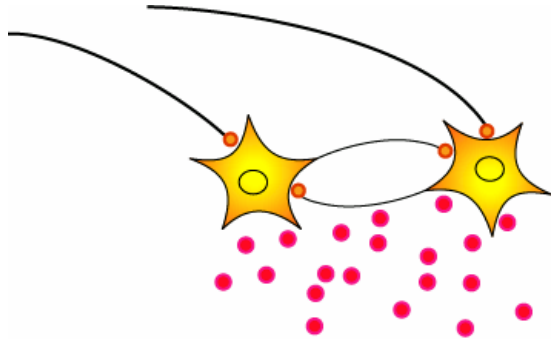
研究課題2: 複雑な機械システムの特性解析

- ・複雑システムは、自発的に内部構造を変えて環境に対して応答する「適応機能」を持つ
- ・環境に対する適応機能のメカニズムの解明

研究テーマ

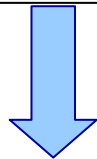
1. 神経ネットワークの同期発火現象とその機能的役割
2. 骨リモデリングのマルチスケールモデリング
3. 適応的歩行運動機能の解明と実現

(1) 神経ネットワークの同期発火現象とその機能的役割



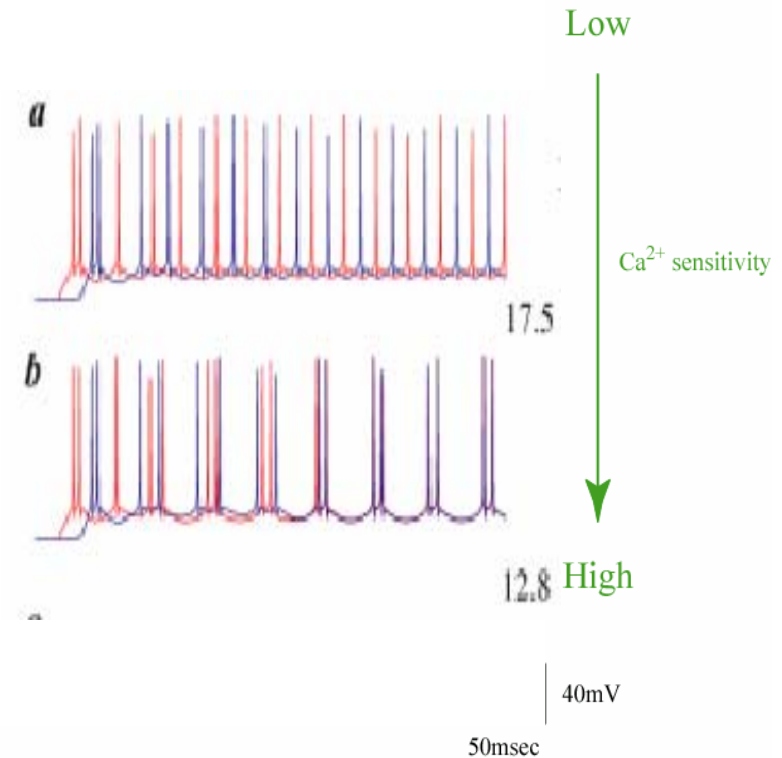
ネットワークダイナミクス

- ・神経伝達物質により神経細胞の性質が変化し、発火モードが変化する
- ・発火モードの切り替わりによって、神経細胞間の同期特性が変化する



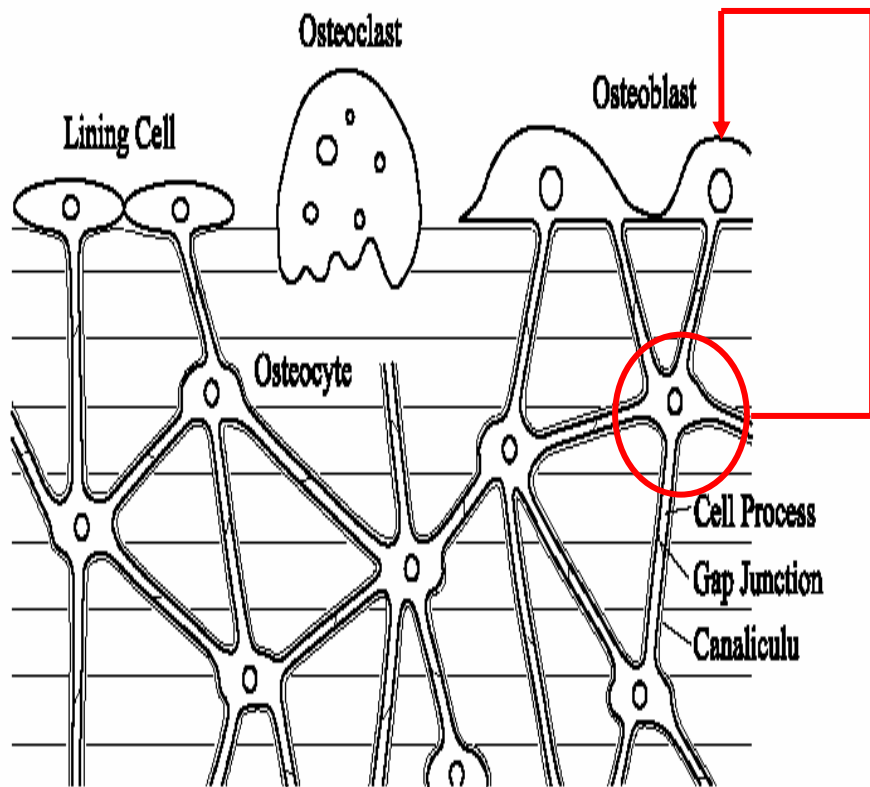
情報処理機能

- ・動作のすばやい切り換え機能の実現



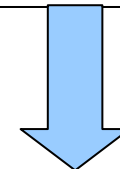
Switching between anti-synchrony and synchrony

(2) 骨リモデリングのマルチスケールモデリング



ミクロダイナミクス

- ・骨細胞が力学情報を感知する
- ・力学情報が表面細胞に伝達される
- ・表面細胞の代謝活動の変化

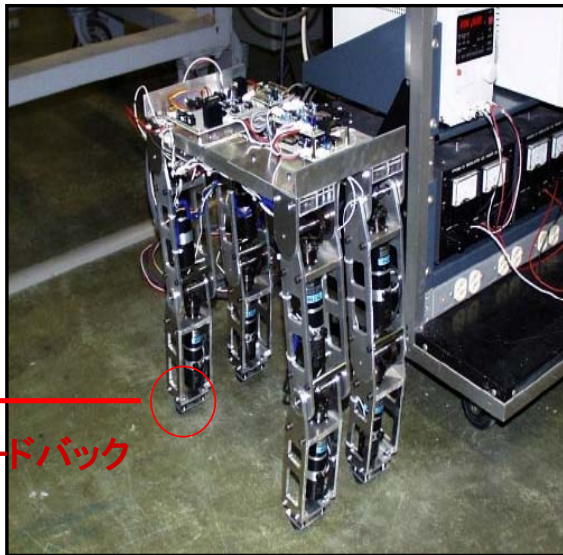
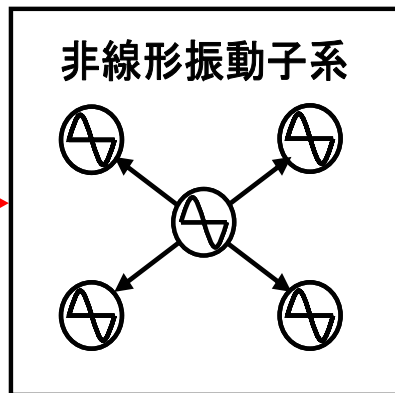


マクロダイナミクス

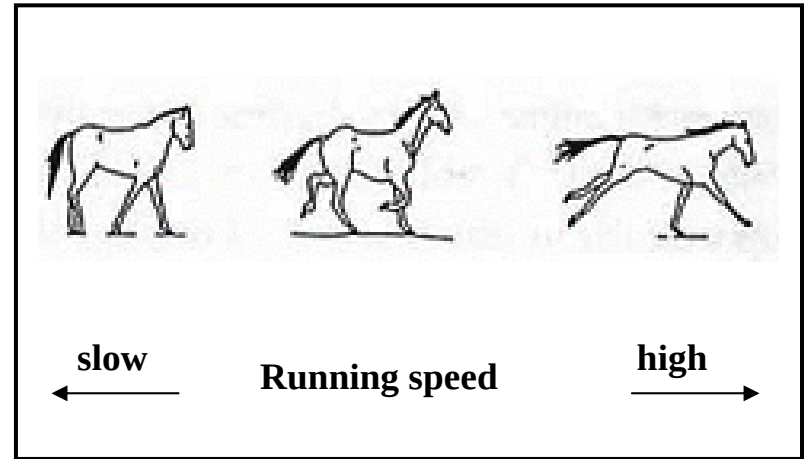
- ・骨梁の適応的な構造変化

図 1: Schematic drawing of bone intercellular network.

(3) 適応的歩行運動機能の解明と実現



パルスフィードバック



研究目的

- ・歩行パターンは
歩行速度に応じて自然に変化する
- ・歩行パターンの適応的な変化
メカニズムを解明する
- ・適応的歩行機能を持つ歩行ロボット
を開発する

研究課題3：複雑な機械システムの制御

- ・複雑システムは内部構造の不安定性のため制御が困難である
- ・不安定内部構造の安定化による複雑システムの安定化制御を行う

研究テーマ

1. 不安定周期運動の安定化による乱流制御
2. 学習制御を用いた無人ヘリコプターの自律飛行制御

研究課題4: 適応機械システムの設計論

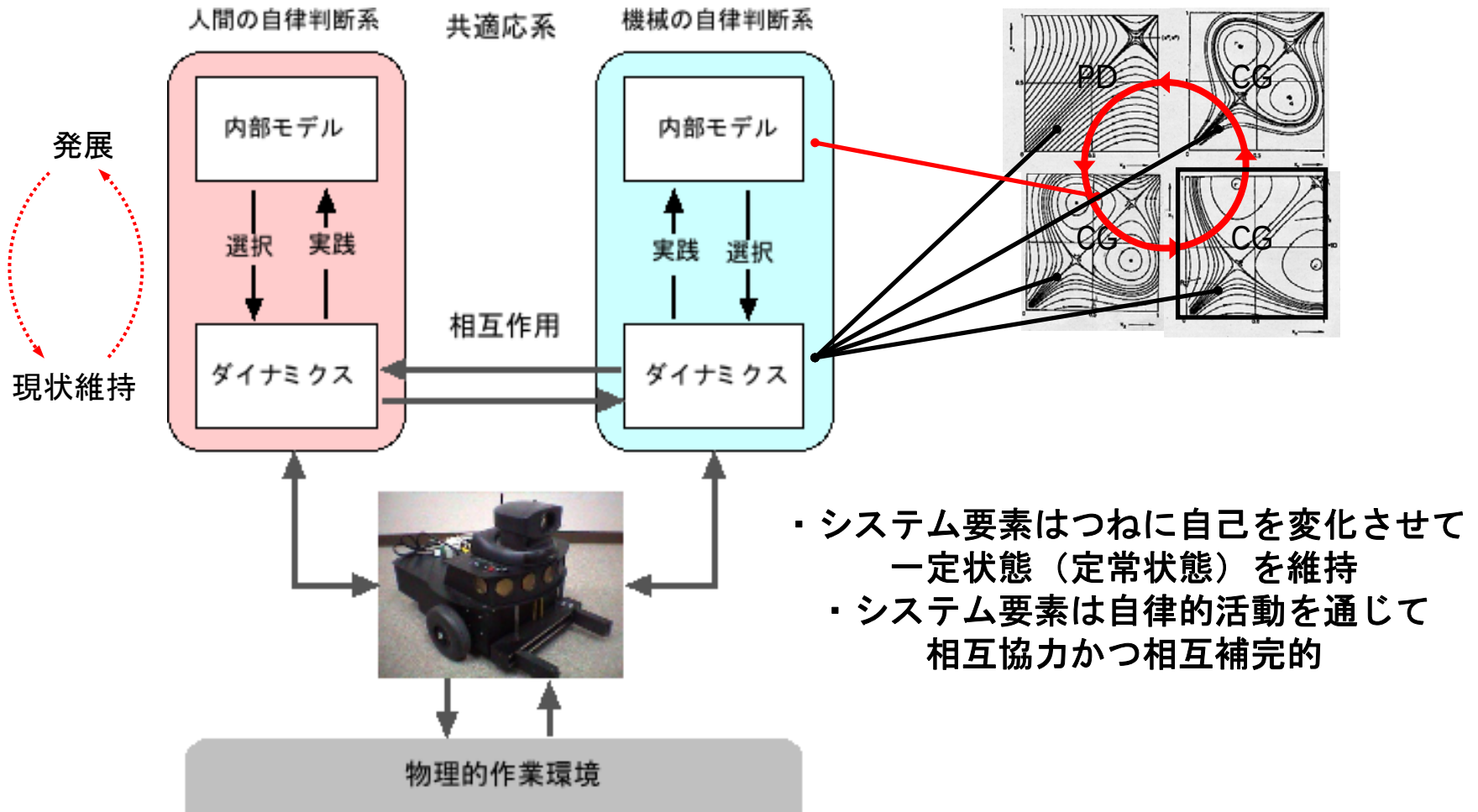
- ・適応機械は内部構造を変化させることにより環境に対して適応機能を実現する
- ・適応機械の設計論とシステム開発を行う

研究テーマ

1. 適応機能を持つ機械・人間インタフェースの設計
2. 骨の生体力学研究から再生医工学への展開

(1) 適応機能を持つ機械・人間インタフェースの設計

予期せぬことをうまく処理する協調の創発



(2) 骨の生体力学研究から再生医工学への展開

桂インテックセンター
スマートマテリアルラボ

&

国際融合創造センター
創造部門

自己再生スマートマテリアルの機能解明と創製

- 骨リモデリングのマルチスケールモデル
- ハイブリッド型骨修復人工材料

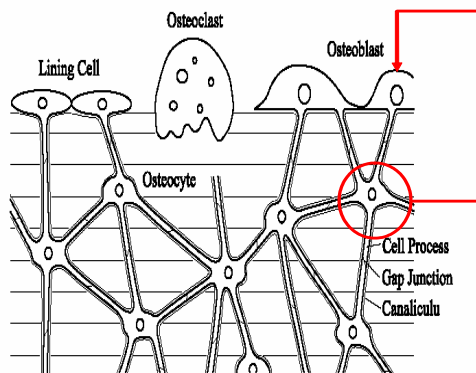
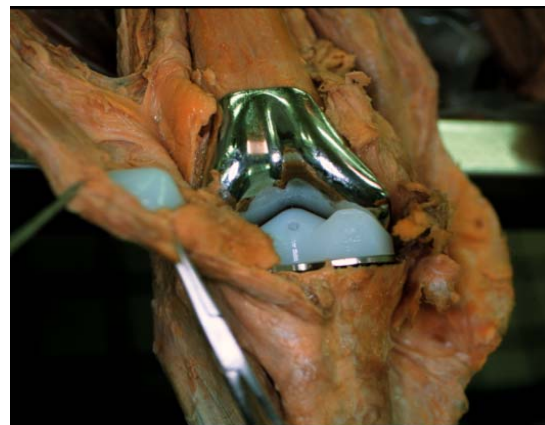


図 1: Schematic drawing of bone intercellular network.

マルチスケールモデル

人工再生関節システムの開発

- 生体環境設計・軟骨再生の実験的検証
- 関節システムの再生技術開発



高耐久型人工膝関節

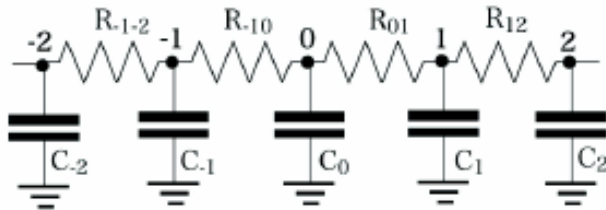
研究課題5: 複雑系の数理解析

- ・複雑システムにかかわる物理現象には従来の解析法では解析できない現象がある
確率解析にもとづく新しい解析手法を開発する
- ・複雑システムの振る舞いを記述する大規模モデルのモデル縮約法を開発する

研究テーマ

1. フラクタル解析による無限RCネットワークの解析
2. 縮約解析、漸近解析にもとづくモデル縮約法
3. 分岐解析にもとづく構造形成の解析
4. 大規模系の逆問題解析と数値解析法の開発

(1)フラクタル解析による 無限RCネットワークの解析



1次元格子状のRC-ネットワーク



Sierpinski gasket格子状のRC-ネットワーク

$$F(t, x, y) \approx \frac{c_1}{t^{n/2}} \exp\left(-c_2 \frac{|x-y|^2}{t}\right)$$

$$F(t, x, y) \approx \frac{c_1}{t^{d_s/2}} \exp\left(-c_2 \left(\frac{|x-y|^{d_w}}{t}\right)^{1/(d_w-1)}\right)$$