

# ネットワークシステムの分散協調制御

畑中 健志 共著  
船田 陸

コロナ社

---

「シリーズ システム・制御のニューフロンティア」編集委員会

委員長 永原正章 (広島大学)  
委員 河島茂生 (青山学院大学)  
(五十音順) 谷口忠大 (京都大学)  
望山 洋 (筑波大学)

---

(2025年8月現在)

## シリーズ刊行のことは

21世紀も四半世紀を終え、人工知能やロボティクス、通信ネットワークなどの科学技術はかつてない速度で進化を続けています。これらの情報技術の爆発的な発展とともに、地球規模での自然環境の激変や社会構造の多様化と複雑化は、我々が直面する課題を大きく変容させました。このような状況下において、システム・制御の学問は、新たなフロンティアを開拓し続けています。

前世紀に発展した古典的なシステム・制御理論は、おもに物理法則に基づくモデル化と解析・設計を中心として発展してきました。しかし、現代社会におけるシステムは、人間、社会、経済、環境など、多様な要素が複雑に絡み合い、物理モデルのみに立脚した古典的手法では捉えきれない側面を多く持ちます。

本「シリーズ システム・制御のニューフロンティア」は、このような認識に基づき、既存の枠組みを超えた新しいシステム・制御の学問体系を構築することを目的としています。具体的には、以下の四つのカテゴリにおいて、最新の研究成果と将来展望を提示します。

### 【カテゴリ A：新しいシステム・制御の基礎理論】

サイバーフィジカルシステムや人間社会の中でのシステムなど、現代的なシステムを扱うための新たな基礎理論の枠組みを展開します。

### 【カテゴリ B：システムの知能】

人工知能とシステム制御理論が融合した新しいシステム設計論を探求します。

### 【カテゴリ C：システムの身体性】

身体と環境のダイナミクスとそれに基づく知能の構成を目指し、物理世界と相互作用するシステムの制御メカニズムを探求します。

【カテゴリ D：人間社会におけるシステム・制御】

社会科学や経済学，心理学など人文社会系の視点を取り入れた，人間社会におけるシステムの解析や設計について最新の理論を紹介します。

本シリーズは，大学院生，研究者，そしてシステム・制御に関心を持つすべての皆様を対象としています。各巻は，第一線の研究者によって執筆され，最新の研究成果，未解決問題，将来展望を網羅的に解説しています。本シリーズが，システム・制御の新たな地平を切り拓く一助となることを願ってやみません。

それではともに，システム・制御のニューフロンティアへと踏み出しましょう！

2025年8月

「シリーズ システム・制御のニューフロンティア」編集委員会

## ま え が き

「…(農業用の)自律型ロボットは小型で電動式になることは、すでに明白になりつつある。(中略)広い農地への拡張は、より大型で高速な機械によって達成されるのではなく、同種の小型ロボットの群れが互いに協調することによって達成される。…」

これはドイツ農業協会が2019年に発表したレポート“Digitalisation in agriculture”の一節である。農業に限らず、広域でのロボット運用には複数ロボットの協力・協調が欠かせない。その実現に向けては、個々のロボットがセンサを介して得た情報をロボット間で共有するネットワークングの技術が必要であることは論を俟たない。また、システムの大規模化に従って、場合によってはエッジコンピューティングやクラウドコンピューティングの技術も必要になるであろう。しかしながら、果たしてそれで十分であろうか。これらはシステム構築の重要な要素ではあるものの、「目的を達成するために、取得した情報を基にロボットはどのように行動すべきか」については解を与えない。そして、これこそが本書の主題である。

本書のタイトルは『ネットワークシステムの分散協調制御』とした。ネットワークシステムとは、複数の動的サブシステムがネットワークに接続されたシステムのことである。ネットワークシステムでは、各サブシステムがネットワークで接続されたサブシステムの情報のみを利用して、ネットワーク全体の目的を達成することが求められる。このような制御のことを分散協調制御という。ネットワークシステムの分散協調制御は2000年代以降、システム制御分野において一大ブームとなり、現在ではシステム制御の研究を行う上で必須の前提知識といって差し支えない。

本分野の初の邦書は、2015年に「マルチエージェントシステムの制御」(シス

テム制御工学シリーズ 22) と題してコロナ社から出版されている。ここでは、合意制御 (本書では同期制御とよぶ)、被覆制御、分散最適化といった代表的な分散協調制御問題が体系的にまとめられており、日本語を母語とする学生や若手研究者の本分野への参入を大いに促進してきた。一方、それぞれの問題が立脚する理論基盤は必ずしも統一されておらず、合意制御は行列の固有値解析、被覆制御はリアプノフ理論、分散最適化では最適化論の手法に基づいて取束性が解析される。ここで、一つの疑問が生じる。すなわち、「これらの異なる分散協調制御問題を単一の基盤理論によって統一的に扱うことはできないのか?」という疑問である。本書を通じて、この疑問に対する著者なりの回答を試みる。

本書では、動的システムに定義される (広い意味での) エネルギーに基づく制御理論を基盤とする。前半では、受動性とよばれる動的システムの性質を基に、同期制御と分散最適化が統一的に理解できることを示す。それだけでなく、受動性を用いることで、この両者が本質的に同じであることまで見通せる。つぎに、リアプノフ関数を動的システムに定義されたエネルギーと捉えれば、被覆制御も矛盾なく本書の枠組みに包含される。最後に、本書では「マルチエージェントシステムの制御」の出版以降に整備された制御バリア関数に基づく制御に関する章を設けた。これは、2010年代中盤以降にシステム制御分野において提案された最も実用的な制御手法であると断言して差し支えない。制御バリア関数をエネルギーと表現するのは乱暴ではあるが、少なくとも必要となる理論基盤に共通項が多く、本書の枠組みときわめて相性が良い。すなわち、本書を通読すれば、限られた前提知識のみを基に、ネットワークシステムの分散協調制御の過去から現在までを網羅的に理解することができる。

本書の構成は以下のとおりである。2章では、本書で中心的な役割を果たす受動性の定義と保存則を導入し、受動性と動的システムの安定性の関係について解説する。3章では最も基本的な分散協調制御である同期制御について、受動性の役割に焦点を当てて説明する。4章では、分散最適化の基礎を成す主双対勾配法が受動的なシステムのフィードバック結合によって構成される事実を示し、既存の分散最適化手法が受動的なシステムの結合によって巧みに組み立

てられていることを解説する。ここまでを本書の前半とする。初学者は各章の3.3節および4.4節までを通して分散協調制御における受動性の役割と、同期制御と分散最適化の構造的等価性を理解してもらえるはずである。3.4節および4.5節以降はやや発展的な内容であるので、初学者はこれらの節を飛ばしても差し支えないが、通読することで受動性に基づく視点の有用性と、同期制御と分散最適化の関係をさらに深く理解することができる。後半は5章で被覆制御、6章で制御バリア関数に基づく制御について解説する。特に6章は一部に高度な数学を含むが、結果として与えられる制御手法はきわめて実用性が高いものである。くじけずに読み進めてもらいたい。

最後に、本書の完成までに多くの方々のお世話になりました。東京科学大学畑中研究室、三平研究室の学生には多くの誤りや読みづらさの指摘とともに、図の作成に協力いただきました。また、宮野竜也博士、山下駿野博士にも改善に向けたコメントをいただきました。皆様に厚くお礼を申し上げます。

2026年4月

畑中 健志  
船田 陸

#### 執筆分担

畑中健志：1～4章

船田 陸：5章, 6章

# 目 次

## 1. 序 論

1.1 ネットワークシステムの分散協調制御 .....	1
1.1.1 同期制御問題 .....	2
1.1.2 分散最適化問題 .....	7
1.1.3 被覆制御問題 .....	8
1.1.4 安全性/持続可能性の保証 .....	10
1.2 分散協調制御の設計ツール .....	11
1.2.1 受 動 性 .....	12
1.2.2 勾 配 法 .....	14
1.2.3 制御バリア関数に基づく制御 .....	16
1.3 本書で用いる記法と数学的基礎 .....	18

## 2. 受動性と安定性

2.1 物理システムとエネルギー .....	21
2.2 受 動 性 .....	27
2.3 受動性の保存則 .....	35
2.4 $\mathcal{L}_2$ 安定性と受動性 .....	40
2.5 リアプノフ安定性と受動性 .....	43
2.6 受動的なシステムの制御 .....	50

### 3. 同期制御

3.1 ネットワークシステムとグラフ	54
3.2 合意アルゴリズムと受動性	57
3.2.1 合意アルゴリズムとグラフラプラシアン	58
3.2.2 受動性に基づく収束性解析：強連結かつ平衡なグラフの場合	62
3.2.3 受動性に基づく収束性解析：強連結なグラフの場合	65
3.3 ネットワークシステムの出力同期制御	68
3.4 相互フィードバック制御の一般化	72
3.4.1 重み付きの相互フィードバック	72
3.4.2 非線形の相互フィードバック	74
3.4.3 動的な相互フィードバック	79
3.5 双方向テレオペレーション	84

### 4. 分散最適化

4.1 最適性条件と双対性	91
4.1.1 制約条件をもたない最適化問題	91
4.1.2 制約条件をもつ最適化問題	93
4.2 勾配法と受動性	98
4.3 主双対勾配法と受動性	101
4.3.1 主双対勾配法	102
4.3.2 主双対勾配法の受動性	103
4.4 分散最適化と受動性	106
4.4.1 分解可能問題	107
4.4.2 合意最適化	110
4.5 交互方向乗数法と受動性	114
4.6 受動性に基づく主双対勾配法の一般化	122

4.7 不等式制約をもつ問題に対する主双対勾配法	128
--------------------------	-----

## 5. 被 覆 制 御

5.1 ボロノイ図	138
5.2 被覆制御とは	143
5.2.1 目的関数の構築	143
5.2.2 勾配法による被覆制御	145
5.2.3 目的関数の勾配計算	152
5.3 さまざまな被覆制御	157
5.3.1 計測範囲が限られるロボットによる被覆制御	157
5.3.2 重要度関数の更新による領域の巡回	166

## 6. 制御バリア関数に基づく制御

6.1 安全性と前方不変集合	170
6.2 制御バリア関数と二次計画問題	179
6.3 制御バリア関数の発展例	188
6.3.1 ロボット複数台の衝突回避と制御バリア関数の分散化	188
6.3.2 運動する障害物の回避と時変制御バリア関数	195
6.3.3 充電基地への帰還と有限時間整定制御バリア関数	198
6.3.4 複数の制約と滑らかでない制御バリア関数	202
6.3.5 高次システムの安全性	208
6.3.6 入力を含む制約と積分制御バリア関数	215

引用・参考文献	221
---------	-----

索 引	224
-----	-----

# 1 | 序 論

## 1.1 ネットワークシステムの分散協調制御

鳥や魚などの生物の中には、多数の個体が集まって群れを形成し、外敵などの危険に対する生存確率を上げる種が存在する。このとき、群れを形成する各個体は自律的に自身の行動を決定しているにもかかわらず、他者と見事に運動を協調し、あたかも群れが一つの意志をもつ個体であるかのように振る舞う。このような協調行動が発現するメカニズムについて、古くから物理学、生物学、計算機科学などの諸分野において活発な研究が進められてきた。中でも、文献1)では、各個体は近傍の個体から情報を取得し、それを基に「接近・整列・分離」という非常に単純な行動規則に従って行動することで群れ行動が発現することを主張している。

生物の群れ行動は本書の主題を考える上で重要な示唆を与える。まず、鳥であれ魚であれ、各個体の運動特性は動的システムとして表現されざるを得ない。また、各個体が近傍の個体のみから情報を取得するということは、個体間の情報交換の制限はネットワークとして表現されるはずである。このように、複数の動的システムが他者の情報の利用可否を表すネットワークで接続されたシステムのことをネットワークシステムとよぶ。

つぎに、ネットワークシステムには達成すべき目的が定義されなければならない。生物の例では群れを形成することそのものが目的である。群れの形成がそうであるように、達成すべき目的は他個体の存在なくしては定義し得ない。

前述の動的システムがネットワークで表現される情報交換の制限の下で所定の目的を達成する制御を分散協調制御という。

これ以降、本書で扱う分散協調制御の目的を列挙しよう。

### 1.1.1 同期制御問題

再び生物の群れ行動を考えよう。「接近・整列・分離」の三つのルールのうち整列に着目して、群れの進行方向がそろう現象を説明する数理モデルとして **Vicsek モデル**がある。

いま、個体にはそれぞれ  $1, 2, \dots, n$  という ID が付与されているとし、**図 1.1(a)** のように個体  $i$  の進行方向を表す角度を  $x_i$  と表記しよう。このとき、Vicsek モデルは次式で与えられる<sup>†</sup>。

$$\dot{x}_i = \frac{1}{|\mathcal{N}_i(t)| + 1} \left( x_i + \sum_{j \in \mathcal{N}_i(t)} x_j \right) - x_i \quad (1.1)$$

ここで、 $\dot{x}_i$  は  $x_i$  の時間に関する微分であり、本書を通じて、記号の上に  $\cdot$  をおくことで時間に関する微分を表すこととする。また、 $\mathcal{N}_i(t)$  は個体  $i$  が情報を利用できる他個体の集合であり、本来の Vicsek モデルは個体間の距離が一定値以下の個体からなる集合としてこれを定義する。しかし、ここでは簡単のため、集合  $\mathcal{N}_i$  は時間によって変化しないと仮定しよう。このとき、式 (1.1) は次式に書き換えることができる。

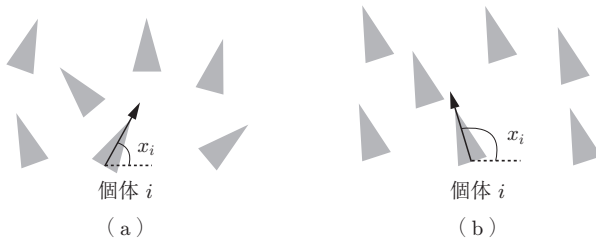


図 1.1 鳥の整列行動

<sup>†</sup> 本来の Vicsek モデルは離散時間システムとして定義されるが、あとの議論のため、本書ではそれを連続時間システムに変換した式 (1.1) を考える。

$$\begin{aligned} \dot{x}_i &= \frac{1}{|\mathcal{N}_i| + 1} \left( -|\mathcal{N}_i|x_i + \sum_{j \in \mathcal{N}_i} x_j \right) \\ &= \frac{1}{|\mathcal{N}_i| + 1} \sum_{j \in \mathcal{N}_i} (x_j - x_i) \end{aligned} \quad (1.2)$$

すなわち、Vicsek モデルはネットワークが接続された相手との変数の偏差の総和によって  $x_i$  を更新するのである。このとき、式 (1.2) に従う進行方向  $x_i$  ( $i = 1, 2, \dots, n$ ) は適切なネットワーク結合に関する仮定の下で

$$\lim_{t \rightarrow \infty} (x_i - x_j) = 0 \quad \forall i, j = 1, 2, \dots, n \quad (1.3)$$

を満足することが知られている。すなわち、図 1.1(b) のように鳥の進行方向は同期する。このように、ネットワークの構成要素たる動的システムの変数の偏差をゼロに収束させる問題を同期制御問題という。

同期制御は幅広い工学応用を有する。例えば、 $n$  台の自動運転車に車列を形成させる場面を考えよう<sup>6)</sup>†。ここで、図 1.2 のように、単一車線上の車両  $i$  の位置を  $p_i \in \mathbb{R}$ 、速度を  $v_i \in \mathbb{R}$  とおき、各車両の ID は前方車から数えて  $1, 2, \dots, n$  と付与されているものとする。車両  $i$  と車両  $i - 1$  の理想的な車間距離を  $d$  とし、 $q_i = p_i + d(i - 1)$  と定義すると、車列の形成とは次式の達成にはかならない。

$$\lim_{t \rightarrow \infty} (v_i - v_j) = 0 \quad \forall i, j = 1, 2, \dots, n \quad (1.4)$$

$$\lim_{t \rightarrow \infty} (q_i - q_j) = 0 \quad \forall i, j = 1, 2, \dots, n \quad (1.5)$$

明らかに、これは同期制御問題である。この問題の発展として、ロボットや航空機のフォーメーション制御<sup>7)</sup>がある。いま、ロボット  $i$  の二次元、あるいは

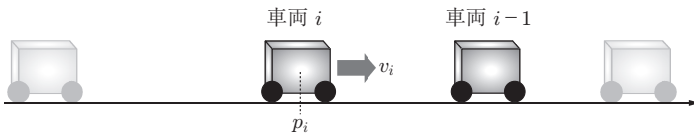


図 1.2 自動運転車の車列

† 肩付き数字は、巻末の引用・参考文献番号を示す。

三次元空間上の位置を  $p_i$  と表記する。このとき、フォーメーション制御の目的は次式で与えられる<sup>†</sup>。

$$\lim_{t \rightarrow \infty} (p_i - p_j) = d_{ij} \quad \forall i, j = 1, 2, \dots, n \quad (1.6)$$

ここで、 $d_{ij}$  は所望のフォーメーション形状を指定するベクトルである。いま、すべての  $i, j$  に対して  $d_{ij} = d_j - d_i$  となるようなベクトル  $d_i$  ( $i = 1, 2, \dots, n$ ) が存在するとする。このとき、 $q_i = p_i + d_i$  と定義すると

$$\lim_{t \rightarrow \infty} (q_i - q_j) = 0 \quad \forall i, j = 1, 2, \dots, n \quad (1.7)$$

を達成すれば

$$\lim_{t \rightarrow \infty} (p_i - p_j) = d_j - d_i = d_{ij} \quad \forall i, j = 1, 2, \dots, n \quad (1.8)$$

より、式 (1.6) が成り立つ。明らかに、式 (1.7) は同期制御の目的と一致する。このほかにも、センサネットワークによる計測値や推定値の平均化、時刻同期など、同期制御の工学応用は多岐に及ぶ<sup>8)</sup>。

本書では、同期を達成すべき制御目的と考えるが、Vicsek モデルがそうであるように、現実世界のさまざまな現象を説明する数理モデルには式 (1.2) と類似の構造を仮定するものも多い。そのことを確認する前に、式 (1.2) を次式のように一般化しておこう。

$$\dot{x}_i = \sum_{j \in \mathcal{N}_i} a_{ij} (x_j - x_i) \quad (1.9)$$

ここで、 $j \in \mathcal{N}_i$  であるとき、 $a_{ij} > 0$  とする。式 (1.9) は合意アルゴリズムとよばれる。定数  $a_{ij}$  を  $a_{ij} = \frac{1}{|\mathcal{N}_i| + 1} \quad \forall j \in \mathcal{N}_i$  と設定すれば、式 (1.2) が式 (1.9) で表現できることを容易に確認できるであろう。

社会の学習過程を説明する古典的なモデルに **DeGroot モデル**<sup>2)</sup> がある。いま、構成員  $i = 1, 2, \dots, n$  から構成される社会において、構成員  $i$  の意見を

<sup>†</sup> フォーメーション制御問題には複数の定義が存在し、この定義は変位に基づく問題とよばれる<sup>7)</sup>。

$x_i \in \mathbb{R}$  と表記する。一般に、各構成員の意見は他の構成員の意見に影響を受けながら醸成される。DeGroot のモデルはこの現象を説明するものであり、 $x_i$  の時間変化を次式で与える<sup>†</sup>。

$$\dot{x}_i = \left( \sum_{j=1}^n a_{ij} x_j \right) - x_i \quad (1.10)$$

ここで、 $a_{ij} \geq 0 \quad \forall i, j$  であり、 $\sum_{j=1}^n a_{ij} = 1 \quad \forall i$  である。すなわち、式 (1.10) の右辺第一項は全構成員の重みつき平均であり、 $a_{ij}$  は構成員  $j$  の  $i$  への影響力の強さを表すパラメータである。式 (1.10) は次式に書き換えることができる。

$$\begin{aligned} \dot{x}_i &= \left( \sum_{j=1}^n a_{ij} x_j \right) - \left( \sum_{j=1}^n a_{ij} \right) x_i \\ &= \sum_{j=1}^n a_{ij} (x_j - x_i) \end{aligned} \quad (1.11)$$

明らかに、これは式 (1.9) の一例であると解釈できる。

合意アルゴリズムと完全に一致しないまでも、部分的にその構造を見いだすことができるモデルも多い。例えば、薬物動態学では薬品が体内に広がる過程を記述したコンパートメントモデルとよばれるモデルが用いられる<sup>3)</sup>。簡単のため、二つの部位のみからなるシステムを考えよう。このとき、部位  $i$  ( $i = 1, 2$ ) の薬品量を  $x_i$  と表記すると、コンパートメントモデルは次式で与えられる。

$$\dot{x}_1 = k_1(x_2 - x_1) - a_1 x_1 + cu \quad (1.12)$$

$$\dot{x}_2 = k_2(x_1 - x_2) - a_2 x_2 \quad (1.13)$$

ここで、 $u$  は投与する薬品の体積流量、 $k_i, a_i$  ( $i = 1, 2$ )、 $c$  は正の定数である。両式の右辺第一項に合意アルゴリズムと同様の項が現れていることが確認でき

<sup>†</sup> 本来の DeGroot モデルも離散時間システムとして定義されるが、あとの議論のため、本書ではそれを連続時間システムに変換した式 (1.10) を考える。

# 索引

	<b>【こ】</b>		<b>【す】</b>
<b>【あ】</b>	合意アルゴリズム 4, 57 合意最適化問題 110 交互方向乗数形式 114 交互方向乗数法 114 勾配法 14, 98 コンパートメントモデル 5	スラック変数 186 スレーターの制約想定 91	制御バリア関数 18, 180 制御リアプノフ関数 186 制約条件 90 積分制御バリア関数 217 ゼロ状態可観測 48 ゼロ点 124 漸近安定 44 線形計画問題 136 センサネットワーク 4 前方不変集合 45
安定限界 123 鞍点 97 鞍点定理 97	<b>【い】</b>	最適解 90 最適化変数 90 最適化問題 7, 90 最適配置問題 142 散乱変換 89	<b>【せ】</b>
位相余裕 123 入次数 56	<b>【お】</b>	<b>【さ】</b>	<b>【そ】</b>
凹関数 92	<b>【か】</b>	資源配分問題 107 指数安定 44 実行可能解 90 時変制御バリア関数 196 弱双対定理 95 重心ボロノイ配置 146 主双対勾配法 102 出力強受動的 28 出力同期 57 受動性 28 受動性に基づく制御 52 受動定理 42 主問題 94 条件付き漸近安定性 47 状態 26 状態空間表現 26 自律系 43	相対次数 210 双対関数 93 双対問題 94 相補性条件 96
開ループ伝達関数 123 拡張クラス K 176 拡張ラグランジアン 115 完全グラフ 55	<b>【き】</b>	<b>【し】</b>	<b>【た】</b>
狭義凸関数 92 強双対性 95 強連結 57 局所最適解 149 近傍集合 55	<b>【く】</b>	出力強受動的 28 出力同期 57 受動性 28 受動性に基づく制御 52 受動定理 42 主問題 94 条件付き漸近安定性 47 状態 26 状態空間表現 26 自律系 43	大域的最適解 149 大域的に可到達 56 単調関数 93
グラフ 55 グラフラプラシアン 61 蔵本振動子 6, 76	<b>【け】</b>	<b>【し】</b>	<b>【ち】</b>
ゲイン交差周波数 123	<b>【け】</b>	<b>【し】</b>	<b>【て】</b>
			蓄積関数 28 停留点 91 出次数 56

<p><b>【と】</b></p> <p>同期制御問題 3  動的システム 26  凸関数 92  凸最適化問題 95  凸集合 140  ドロネーグラフ 142</p> <p><b>【な】</b></p> <p>南雲の定理 175  滑らかでない制御バリア関数 206</p> <p><b>【に】</b></p> <p>二次計画問題 182  入力強受動的 28</p> <p><b>【ね】</b></p> <p>ネットワークシステム 1</p> <p><b>【の】</b></p> <p>ノミナル入力 181</p> <p><b>【は】</b></p> <p>バーバラの補題 45</p>	<p><b>【ひ】</b></p> <p>比較定理 178  被覆制御 9, 143</p> <p><b>【ふ】</b></p> <p>フォーメーション制御 3  分解可能 107  分割 141  分散協調制御 2  分散最適化問題 8, 107</p> <p><b>【へ】</b></p> <p>平衡 56</p> <p><b>【ほ】</b></p> <p>ボロノイ図 140  ボロノイ領域 140</p> <p><b>【み】</b></p> <p>路 56</p> <p><b>【む】</b></p> <p>無向グラフ 55</p>	<p><b>【も】</b></p> <p>目的関数 90  モデル予測制御 11</p> <p><b>【ゆ】</b></p> <p>有限時間整定制御バリア関数 199</p> <p><b>【ら】</b></p> <p>ラグランジアン 93  ラグランジュ乗数 93  ラサールの不変原理 45</p> <p><b>【り】</b></p> <p>リアプノフ安定 43  リアプノフ関数 44  リアプノフの定理 44</p> <p><b>【る】</b></p> <p>ループ整形 128</p> <p><b>【れ】</b></p> <p>連結 57</p>
--	--	---

---

<p>DeGroot モデル 4  KKT 条件 96  <math>\mathcal{L}_2</math> 安定性 40  <math>\mathcal{L}_2</math> ゲイン 41  <math>\mathcal{L}_2</math> ノルム 40</p>	<p>Lie 微分 180  PI 合意アルゴリズム 81  RC 回路モデル 6  <math>r</math>-limited ドロネーグラフ 158</p>	<p><math>r</math>-limited ボロノイ図 158  <math>r</math>-limited ボロノイ領域 158  Vicsek モデル 2</p>
--	---	--

— 著者略歴 —

畑中 健志 (はたなか たけし)

2002年 京都大学工学部情報学科卒業  
2004年 京都大学大学院情報学研究科修士課程  
修了 (数理工学専攻)  
2006年  
～07年 日本学術振興会特別研究員 DC2  
2007年 京都大学大学院情報学研究科博士課程  
修了 (数理工学専攻), 博士 (情報学)  
2007年 東京工業大学大学院助教  
2015年 東京工業大学大学院准教授  
2016年 東京工業大学工学院准教授  
2018年 大阪大学大学院准教授  
2020年 東京工業大学工学院准教授  
2024年 東京工業大学工学院教授  
2024年 東京科学大学工学院教授  
現在に至る

船田 陸 (ふなだ りく)

2014年 東京工業大学工学部制御システム工学  
科卒業  
2016年 東京工業大学大学院理工学研究科修士  
課程修了 (機械制御システム専攻)  
2016年  
～19年 日本学術振興会特別研究員 DC1  
2019年 東京工業大学工学院博士後期課程修了  
(システム制御系), 博士 (工学)  
2019年 早稲田大学理工学術院総合研究所次席  
研究員  
2019年 The University of Texas at  
Austin, Department of Aero-  
space Engineering and Engineer-  
ing Mechanics, Postdoctoral Re-  
searcher  
2020年 東京工業大学工学院助教  
2024年 東京科学大学工学院助教  
2025年 京都大学講師  
現在に至る

## ネットワークシステムの分散協調制御

Distributed Cooperative Control in Network

© Takeshi Hatanaka, Riku Funada 2026

2026年 5月28日 初版第1刷発行

検印省略

著者 畑中 健志  
船田 陸  
発行者 株式会社 コロナ社  
代表者 牛来 真也  
印刷所 三美印刷株式会社  
製本所 有限会社 愛千製本所

112-0011 東京都文京区千石 4-46-10

発行所 株式会社 コロナ社  
CORONA PUBLISHING CO., LTD.  
Tokyo Japan

振替 00140-8-14844・電話 (03)3941-3131(代)

ホームページ <https://www.coronasha.co.jp>

ISBN 978-4-339-03404-2 C3353 Printed in Japan

(大井)



JCCOPY < 出版者著作権管理機構 委託出版物 >

本書の無断複製は著作権法上での例外を除き禁じられています。複製される場合は、そのつど事前に、出版者著作権管理機構 (電話 03-5244-5088, FAX 03-5244-5089, e-mail: info@jcopy.or.jp) の許諾を得てください。

本書のコピー、スキャン、デジタル化等の無断複製・転載は著作権法上での例外を除き禁じられています。購入者以外の第三者による本書の電子データ化及び電子書籍化は、いかなる場合も認めていません。落丁・乱丁はお取替えいたします。