

2022年度功績賞受賞記念講演

計測制御における我が道を振り返る

池田雅夫

2005年度計測自動制御学会会長

計測自動制御学会名誉会員・フェロー

IEEE Life Fellow

日本機械学会フェロー

IFAC Fellow

2023年9月8日、SICE2023@三重大学

計測自動性制御学会 学会賞規程

(功績賞)

第8条 功績賞は、**生涯的偉業を讃える**とともに、本会分野の発展への継続的な貢献を広く会員に奨励することを目的とし、本会が関与する分野において、科学技術の進歩、産業の発展、もしくは、教育・啓蒙に関し、永年にわたって特別の功労があり、その功績がとくに顕著な者に、賞状と表彰メダルを贈呈する。

2. 受賞者は、本会の会員でなければならず、重ねて受賞することはできない。毎年1名以内の範囲で授与する。

名誉なことであるが、**私の生涯はほとんど終わった**(あるいは、今以上のものはもう現れない)と考えられているみたいだ。

よい機会だから、我が道を振り返ってみよう。

自画自賛になることをお許しいただきたい。

すべてはここから始まった。

バタフライエフェクト(カオス)：ほんの小さな違いが将来の大きな違いになる。

中学2年生のとき、1学年上の先輩に誘われて、アマチュア無線技士の免許を取得
開局、コールサイン**JA4AVK**

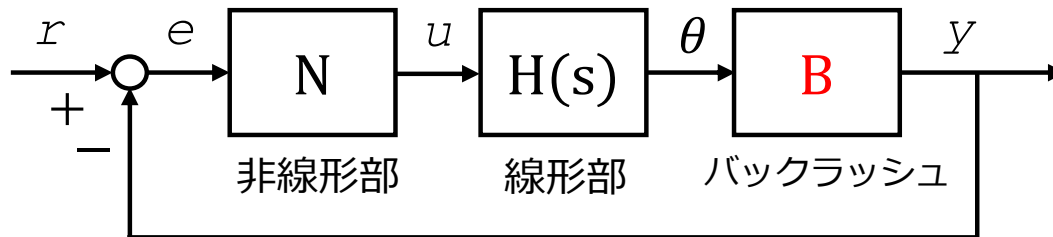
NHK教育テレビ「アマチュア無線講座」で紹介される。
(当時、広島在住。多分、中国地方最年少)



- 高校3年生のとき、父親が転勤で大阪に。**大阪大学工学部通信工学科**を進学先に選ぶ。
- 2年生の後期、**児玉慎三**先生（当時、講師）の電気回路論演習の授業を受け、理路整然とした論旨に感激し、児玉研究室に入ることを決める。
- 卒業研究は**前田肇**先生（当時、博士課程1年生。後に大阪大学工学部通信工学科教授）の指導を受ける。

バックラッシュを含むフィードバックシステムの拡張された安定判別法

前田 肇, 池田雅夫, 児玉慎三, 計測自動制御学会論文集, 6巻, 1号, pp.89-95, 1970



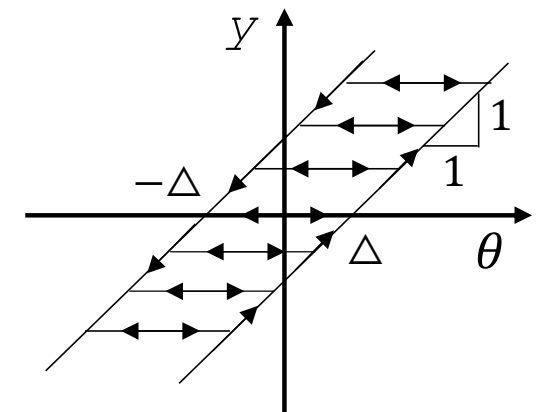
非線形特性 N $u = f(e)$

- $0 \leq \{f(e_2) - f(e_1)\} / (e_2 - e_1) \leq k$
- $\lim_{|e| \rightarrow \infty} f(e) = k_\infty \leq k$

線形部 ($s=0$ に極を持つシステム)

- インパルス応答 $h_0 + h_1(t)$
- $h_0 > 0$, $h_1(t)$: 絶対可積分 & 2乗可積分, $\lim_{t \rightarrow \infty} h_1(t) = 0$

バックラッシュ特性 B



安定条件 (マルチプライヤ法)

$$\operatorname{Re} \left[\left\{ \alpha + Z(i\omega) \right\} \left\{ H(i\omega) + \frac{1}{k} \right\} \right] \geq \delta > 0, \quad 0 \leq \omega < \infty$$

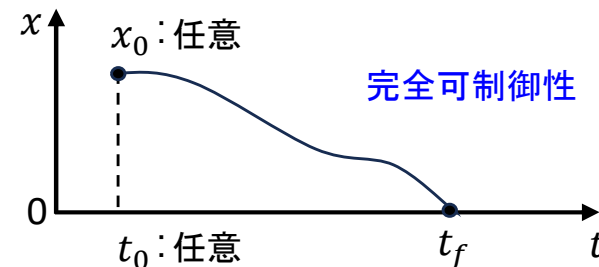
$$\alpha \geq 0, \quad Z(i\omega) : z(t) \text{ のフーリエ変換, } z(t) \geq 0, \quad \dot{z}(t) \leq 0, \quad \ddot{z}(t) \geq 0, \quad t \geq 0$$

$$z(t) \text{ の例 : } \sum_n \gamma_n e^{-\beta_n t}, \quad \gamma_n > 0, \quad \beta_n > 0, \quad n = 1, 2, \dots$$

大学院における主な研究：線形時変システムの安定化

線形時変システム： $\dot{x}(t) = A(t)x(t) + B(t)u(t)$

フィードバック則： $u(t) = -K(t)x(t)$



Stabilization of Linear Systems

M. Ikeda, H. Maeda, S. Kodama, *SIAM Journal on Control*, vol.10, no.4, pp.716-729, 1972 被引用数：約130

完全可制御性 (Kalmanの定義) が完全可安定性の必要十分条件

完全可安定性：任意の時刻 t_0 と $\delta(t_0, t_0) = 0$ を満たす任意の単調非減少関数 $\delta(t, t_0)$ に対して、ある正数 $a(t_0)$ について、閉ループ系のすべての $x(t_0)$ について

$$\|x(t)\| \leq a(t_0)\|x(t_0)\|e^{-\delta(t, t_0)}, \quad \forall t \geq t_0$$

が成立するようなフィードバックゲイン $K(t), t \geq t_0$ が存在する。

Estimation and Feedback in Linear Time-Varying Systems: A Deterministic Theory

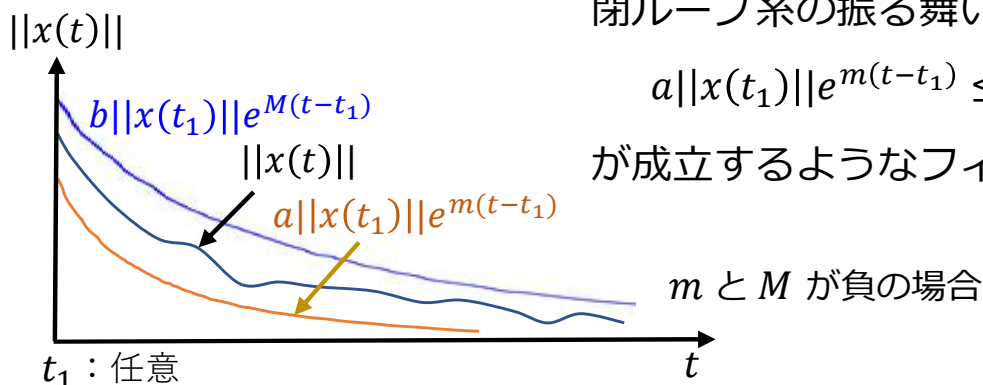
M. Ikeda, H. Maeda, S. Kodama, *SIAM Journal on Control*, vol.13, no.2, pp.304-326, 1975 被引用数：約90

一様完全可制御性 (Kalmanの定義) が一様完全可設計性の必要十分条件(係数行列が有界な場合)

一様完全可設計性：任意に指定された m と $M (\geq m)$ に対して、ある正数 a と b が存在し、閉ループ系の振る舞いがすべての t_1 と $t (\geq t_1)$ について

$$a\|x(t_1)\|e^{m(t-t_1)} \leq \|x(t)\| \leq b\|x(t_1)\|e^{M(t-t_1)} \quad (M = m \text{ でもよい})$$

が成立するようなフィードバックゲイン $K(t)$ が存在する。



講演者の研究者人生の
中の最高傑作

1970年代の研究者（講演者より上あるは同じ世代）の記憶に残っている論文（だと思う）

● 1981年 IFAC World Congress in Kyoto

南カリフォルニア大学 Leonard M. Silverman 教授から「あの論文の著者か。よく覚えている」

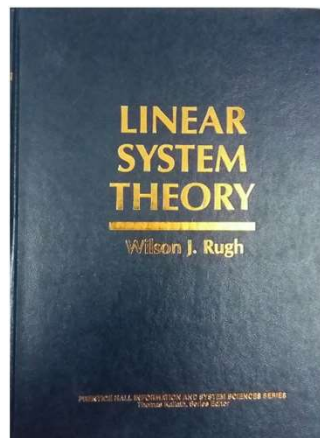
● 1991年 MTNS in Kobe

ローマ・サピエンツァ大学の Alberto Isidori 教授から「あの論文の著者ではないか。よい結果だった」



● 1995年 IEEE CDC in New Orleans

ジョンズ・ホプキンス大学の Wilson J. Rugh 教授から「自分が書いた本に入れさせてもらった」



最終日の最後のセッションの最後の発表

広い会場に、司会者、発表者（私の共同研究者）、見知らぬ人（Rugh教授）と私の4人。その人は後ろのほうにいたので、何の目的でそこにいるのだろうか、と思っていたら、セッション終了後に声を掛けてきた。

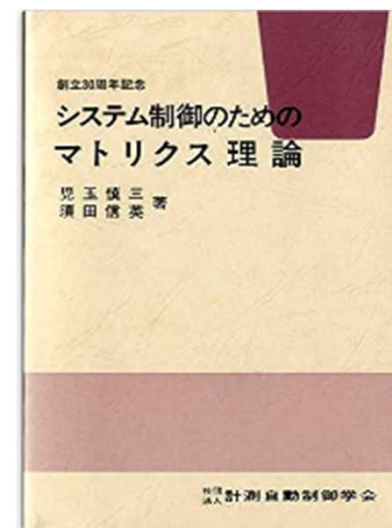
Prentice-Hall, 1992

大学院生時代：児玉先生と須田信英先生の連載記事を手伝う。

制御工学者のためのマトリクス理論：システムと制御，1969年9月～1974年3月
全30回中、(4)～(12)、(15)、(22)の**行列のシステム制御への適用**部分を執筆

この連載の理論部分は後に出版

システム制御のためのマトリクス理論：児玉慎三、須田信英
計測自動制御学会、1981



連載の中で得た知見から

Large-Scale Dynamical Systems: State Equations, Lipschitz Conditions, and Linearization
M. Ikeda, S. Kodama, *IEEE Trans. Circuit Theory*, vol.CT-20, no.3, pp.193-202, 1973 被引用数：約40
非線形素子・サブシステムが結合したシステム(微分・代数方程式系)の状態方程式の導出法とその性質

線形ダイナミカルシステムの表現式について

児玉慎三，池田雅夫，電子通信学会論文誌(D)，56-D巻，10号，pp.553-560，1973

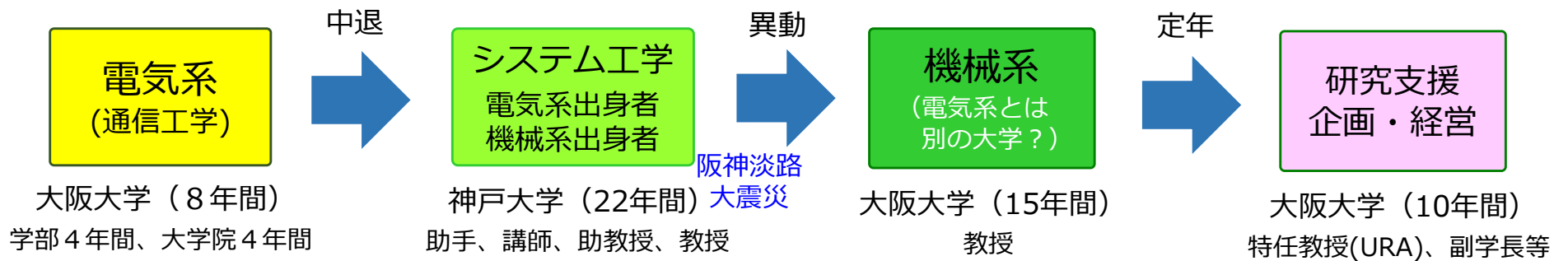
微分・代数方程式系を**中間標準形**と呼び、状態方程式に等価変換できるための条件と変換法を提示

これらを動機として、**ディスクリプタシステム（微分・代数方程式系）に興味をもつ**

Descriptor形式に基づくシステム理論

池田雅夫，計測と制御，24巻，7号，pp.597-604，1985

博士課程 2 年生で中退し、神戸大学工学部システム工学科で教員に。 その後、大阪大学工学部機械系へ



非線形システムの安定性解析 (バックラッシュ、ロトカ・ボルテラ方程式、平衡点が変わるルーリエ系)

線形時変システムの制御

むだ時間システムの制御

大規模結合システムの分散制御

重複サブシステムから成る
大規模システムの分散制御

ディスクリプタシステムの解析と制御

動的質量計測

繰り返し制御

積分型サーボ系の 2 自由度構成

補間モデルに基づく制御系設計

入出力データを直接用いる制御アルゴリズム

大型宇宙建造物の制御

アクティブ除振台の制御

ロボットアーム・搬送システムのジャーク抑制制御

建造物の振動抑制設計

1978年6月～1979年11月 Dragoslav D. Siljak 教授との共同研究のため、米国サンタクララ大学へ



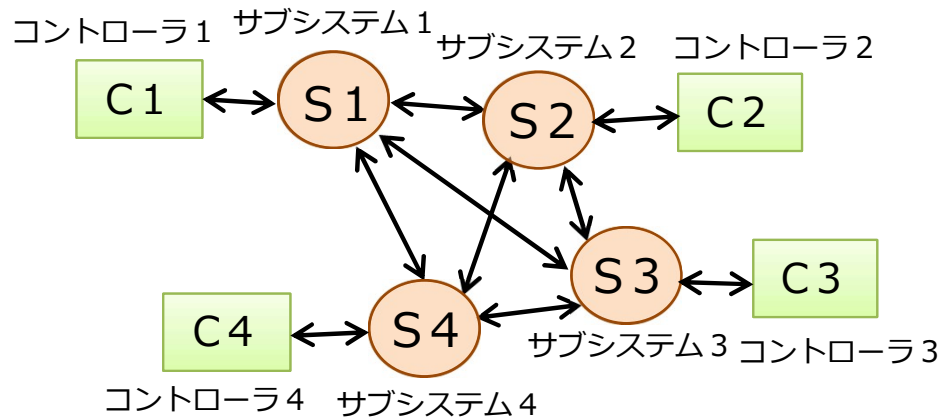
サンタクララ大学

カリフォルニア州
最古の高等教育機関
イエズス会系の私立

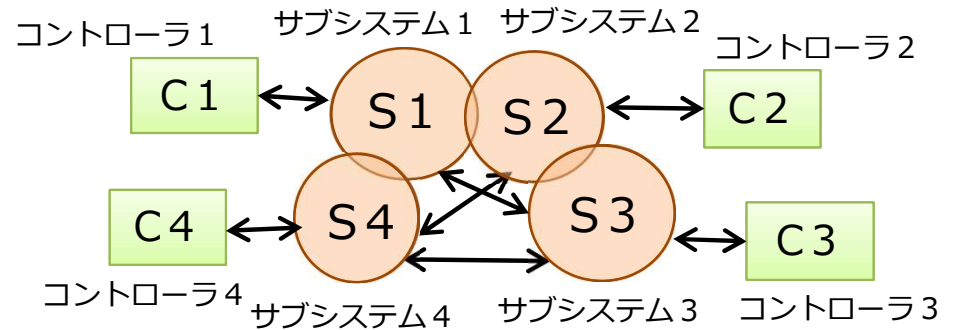
エネルギー省からの研究費で雇用される

- 大規模結合システムの分散制御
- 重複サブシステムから成る大規模システムの分散制御
- 非線形システムの安定解析と制御

多くの研究：通常の分散制御



講演者らの研究：サブシステムが重複している場合の分散制御



Overlapping Decompositions, Expansions and Contractions of Dynamic Systems

M. Ikeda, D.D. Siljak, *Large Scale Systems*, vol.1, no.1, pp.29-38, 1980

被引用数：約230

数理モデルを適切に拡大して、仮想的に重複をなくして解析する方法の数学的裏付けを提示

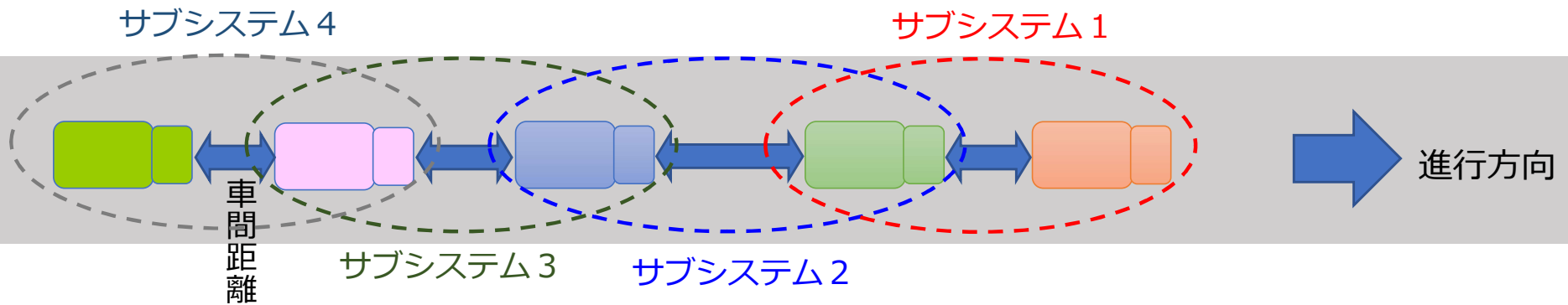
Decentralized Control with Overlapping Information Sets

M. Ikeda, D.D. Siljak, D.E. White, *J. Optimization Theory and Applications*, vol.34, no.2, pp.279-310, 1981

被引用数：約260

数理モデルを拡大し、制御則を求め、それを縮小してシステムに適用する方法を提案

高速道路における自動運転

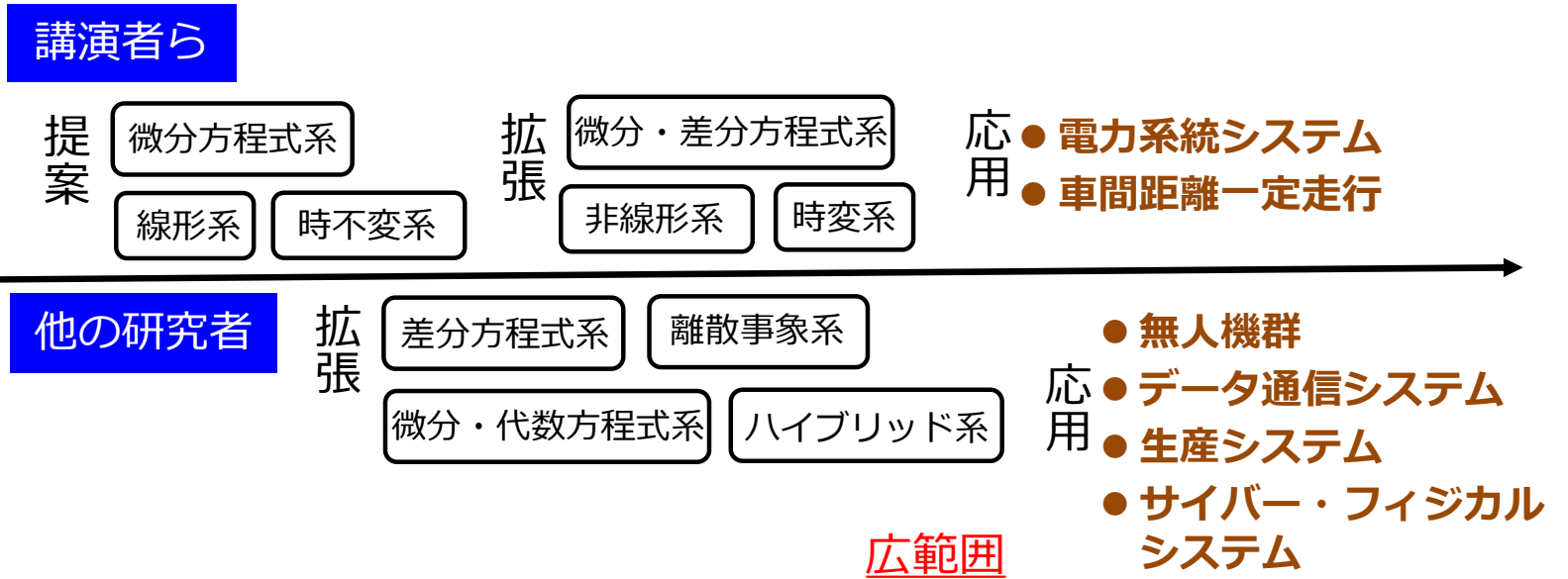


車間距離を一定に保つには2台ずつ速度制御するのがよい

サブシステムは重複する
台数の変化に対応しやすい

波及効果

重複サブシステムからなる
結合システムの分散制御



ディスクリプタシステムの解析と制御

等式制約を含まないLMI (厳密なLMI) によるアプローチ

対象システム： $E\dot{x} = Ax$, E は非正則 (微分方程式と代数方程式の混合システムの表現)

知られていた安定条件：次の不等式を満たす X の存在

$$AX^T + XA^T < 0, \quad EX^T = XE^T \geq 0$$

等号を含むので、数値的に確認しにくい (正確さに欠ける)

提案した安定条件：次の不等式を満たす正定行列 P と正則行列 S の存在

$$A(PE^T + VSU^T) + (PE^T + VSU^T)^T A^T < 0$$

ここで、 U, V は $E^T U = 0, EV = 0$ を満たすフルランクの行列

線形行列不等式なので、解きやすい。

U, V は一意ではないが、結果に影響しない。

$X = (PE^T + VSU^T)^T$ と置くと、知られていた安定条件が満たされる。

ディスクリプタシステムに対する等式制約を含まないLMI安定条件とそのロバスト安定化への応用

上里英輔, 池田雅夫, 計測自動制御学会論文集, 34巻, 12号, pp.1854-1860, 1998

ロバスト安定化への拡張

Strict LMI Conditions for Stability, Robust Stabilization, and H_∞ Control of Descriptor Systems

E. Uezato, M. Ikeda, *Proc. 38th IEEE Conference on Decision and Control*, pp.4092-4097, 1999

被引用数：約290

H_∞ 制御への拡張、コントローラはディスクリプタ形式

その後、 H_2 制御へも拡張

State-Space H_∞ Controller Design for Descriptor Systems

M. Inoue, T. Wada, M. Ikeda, E. Uezato, *Automatica*, 59, 164-170, 2015

被引用数：約40

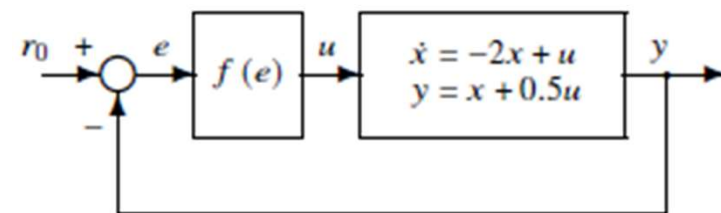
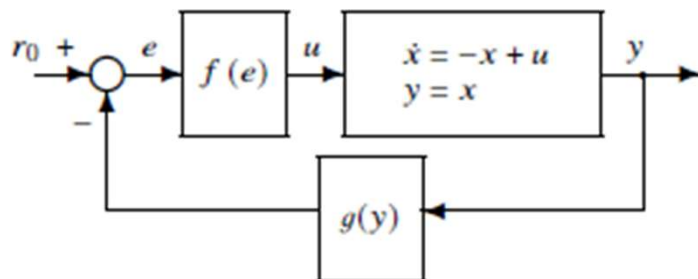
ディスクリプタシステムに対する状態方程式型 H_∞ コントローラの直接導出とパラメトリゼーション

Stability Analysis of Nonlinear Descriptor Systems

T. Wada, M. Ikeda, E. Uezato, *Complex Systems: Spanning Control and Computational Cybernetics: Foundations*, pp.127-144, J. Stefanovski, and J.Kacprzyk (Eds.), Springer, 2022

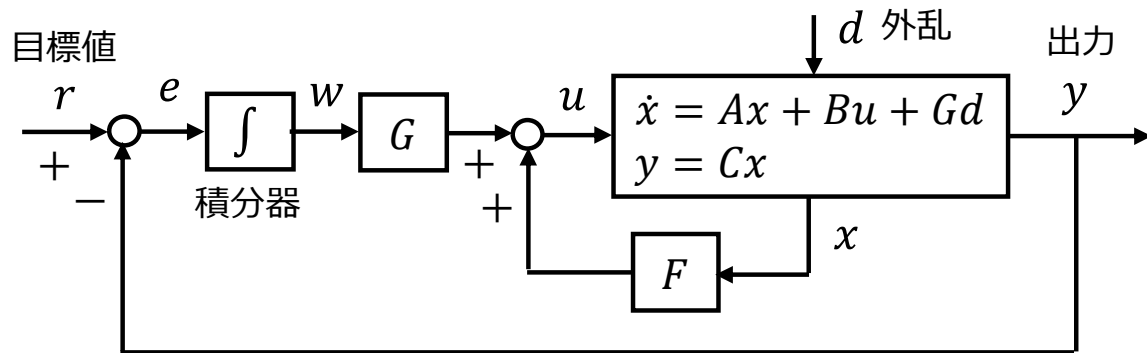
非線形ディスクリプタシステムの安定解析

- 非線形システムを状態方程式で表すことは、理論上は可能だが、必要な変換（陰関数から陽関数への変換）や特性の記述が困難（ほとんど不可能）であることが多い。
- 非線形システムをディスクリプタ形式で表すことは容易である。各要素ごとの表現式とそれらの結合関係を列記するだけでよい。



積分型サーボ系の2自由度構成

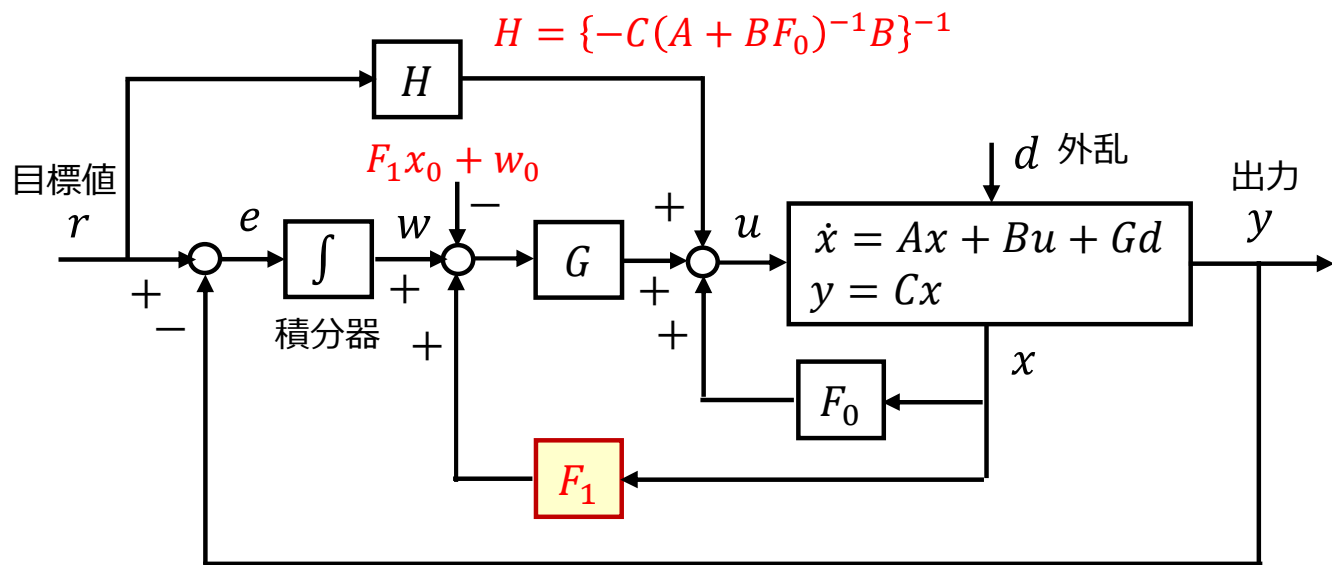
一般的に考えられていた積分型サーボ系



積分補償の導入により、閉ループ系が安定なら、定値外乱があっても、 A, B, C が不正確であっても、 $y(t) \rightarrow r$

外乱がなく、 A, B, C が正確なら、積分補償は不要なはず。その場合、この構成は応答を劣化させる。

2自由度積分型最適サーボ系の構成
 藤崎泰正, 池田雅夫, 計測自動制御学会論文集, 27巻, 8号, pp.907-914, 1991
 被引用数: 約60



- 実システムへの適用例
- 車の4輪操舵系の制御
 - ボイラの蒸気・流量制御
 - 重合プロセス銘柄変更制御
 - 超音波モータの位置制御
 - 搬送クレーンの追従制御
 - 内燃機関のトルク制御
 - 速度変動時の船の安定化
 - 小型無人ヘリの飛行制御
 - パラグライダーの飛行制御
 - ディスク型記録装置の制御
 - 倒立二輪型荷物搬送車
- 等

$F_1 = C(A + BF_0)^{-1}$: 外乱がなく、 A, B, C が正確なら、積分補償の効果を打ち消す。
 外乱がある場合や A, B, C が不正確な場合、積分補償が効く。

動的質量計測

過渡データを用いた高速重量計測

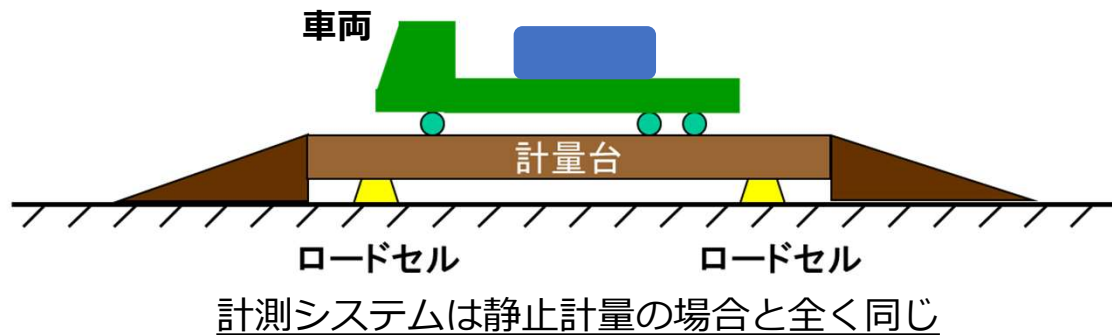
池田雅夫, 青木伸夫, 羽室 浩, 後藤行夫, 計測自動制御学会論文集, 24巻, 6号, pp.563-568, 1988

台秤の定値になる前の過渡データから重量を計算 計測自動制御学会論文賞 (1989年)

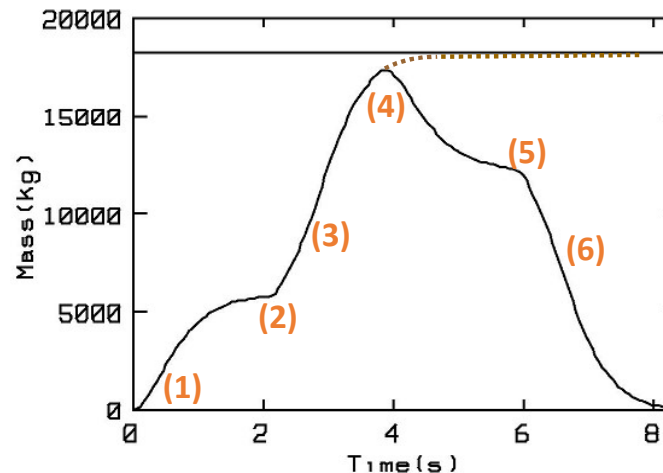
走行車両の動的質量計測

池田雅夫, 小野敏郎, 青木伸夫, 計測自動制御学会論文集, 28巻, 1号, pp.50-58, 1992

計量台上で静止させることなく、質量を計測 計測自動制御学会論文賞・蓮沼賞 (1993年)



- (1) 前輪が計量台に載る
- (2) 後輪の1軸目が計量台に載る
- (3) 後輪の2軸目が計量台に載る
- (4) 前輪が計量台から抜ける
- (5) 後輪の1軸目が計量台から抜ける
- (6) 後輪の2軸目が計量台から抜ける

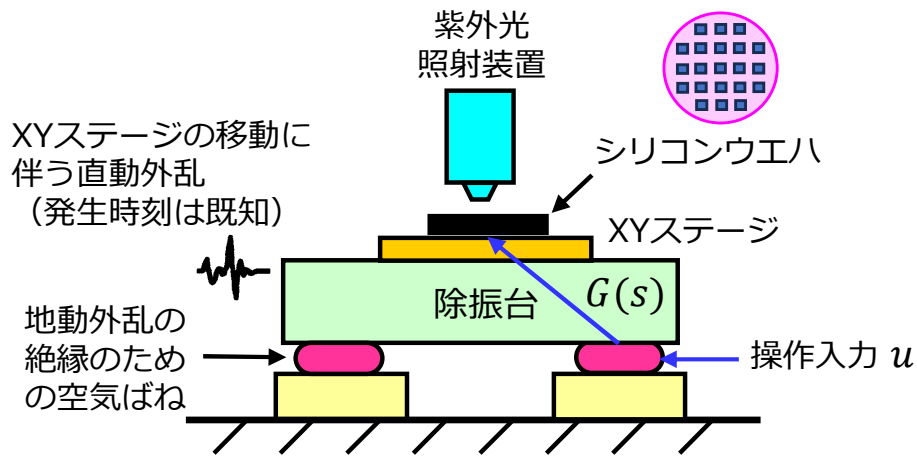


実験結果

時速約12kmで走行した場合、
精度1/1,500

時速約7kmで走行した場合、
精度1/3,000 (静止の場合の精度)

アクティブ除振台の制御：直動外乱の打ち消し



$p = p_w + G(s)u$: シリコンウエハの変位

p_w : 直動外乱によって生じるウエハの変位(既知)

$G(s)$: 操作入力からウエハの変位までの伝達関数

基本的考え

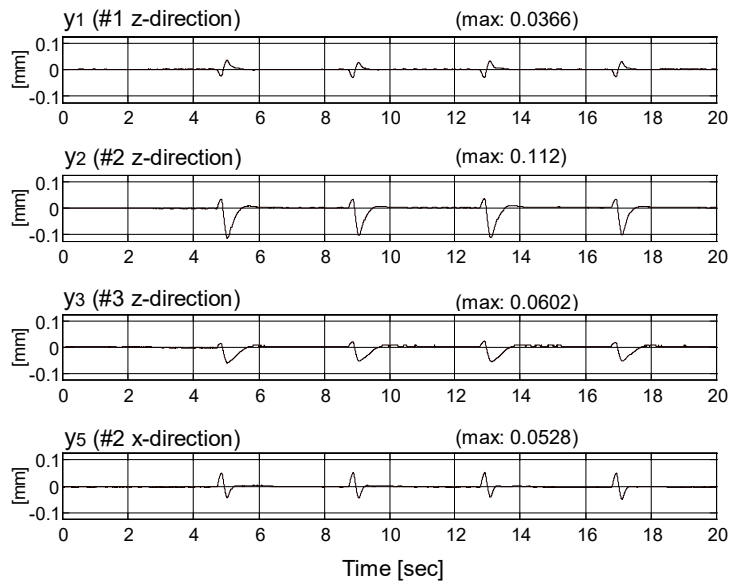
$u = -G^{-1}(s)p_w$ を加えて、外乱の影響を消す

- (1) 振動打消し信号はウエハの位置ごとに事前に計算して、
- (2) プロセッサ内に記憶しておき、
- (3) XYステージを動かす直前から、操作入力として加える。

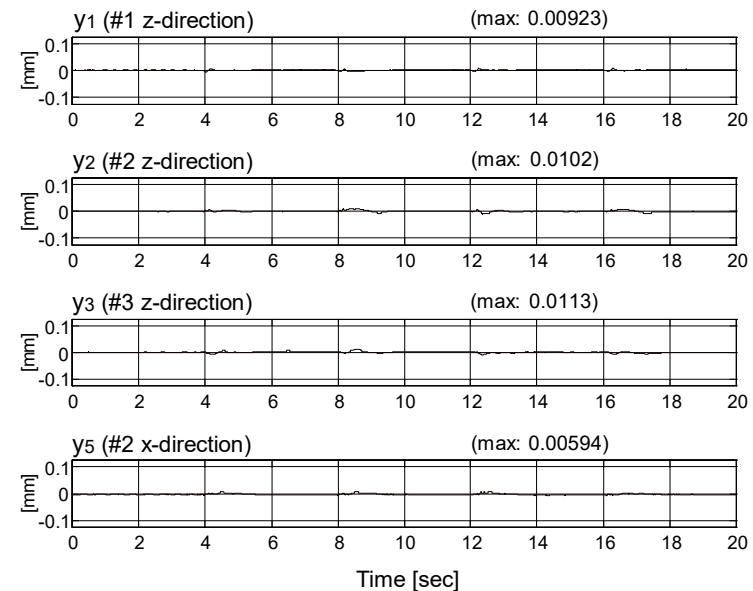
Feedforward Control of a Vibration Isolation System for Disturbance Suppression

M. Yasuda, T. Osaka, M. Ikeda, Proc. 35th IEEE Conference on Decision and Control, pp.1229-1233, 1996

被引用数：約100



制御前 p_w



制御後 p

整定時間が短い→スループットの向上

SICEへの貢献

講師

- 現代制御理論基礎講座 初級と中級の一部 1988～91
- SICEセミナー現代制御理論初級 1992、93 入門1994～99 計測自動制御学会学術教育賞 (1998)
- SICE論文塾 2014～2017

執筆

- 「計測と制御」の解説等：15編 1981～2012
特に読んでほしいもの：ファジィ制御への過大な期待に対する疑問, 計測と制御, 29巻, 8号, pp.763-766, 1990
- 計測自動制御学会 (編) 「自動制御ハンドブック (基礎編)」の分担、延べ35ページ、オーム社、1983

役員

- 会誌編集委員長 (1997)
- 会長 (2005)

英文論文誌の創刊 (2008)

計測自動制御学会功労賞 (2012)

- SICE Journal of Control, Measurement, and System Integration

Editor in Chief : 池田雅夫

Editors : 藤田政之、橋本秀紀、本多 敏、宮里義彦、高橋亮一、寺野隆雄

英文論文誌担当理事 : 藤崎泰正

(敬称略)

Vol.1, No.1 : 招待論文 (世界的に活躍している日本の研究者)

Vol.1, No.2 : 招待論文 (世界の著名な研究者)

Vol.1, No.3 : 招待論文 (日本の産業界の技術者・研究者)

Vol.1, No.4 : 投稿論文の掲載開始



システム制御工学シリーズ

(コロナ社：1999年～2021年)

全23巻の内、7巻が計測自動制御学会著述賞を受賞



第1回編集委員会（1993年12月1日）

前列左から

足立修一 宇都宮大学助教授

杉江俊治 京都大学助教授

池田雅夫 神戸大学教授（編集委員長）

梶原宏之 九州工業大学助教授

藤田政之 北陸先端科学技術大学院大学助教授

後列左から

畑野純夫 コロナ社編集部長

牛来辰巳 コロナ社社長

（肩書は当時）

編集委員会の方針

若い人たちの執筆の機会を増やす。

単著、あるいは共著であってもできるだけ2名以内

おわりに

ネット記事 Full-Count 2023.04.29

「私は志が低かった」松井秀喜が感じた大谷翔平との差
驚いた“規格外”のプロ意識

松井氏の夢：ヤンキースの一員として、ワールドシリーズでチャンピオンになりたい
大谷選手：個人の目標においても、細かく設定

志（目指すところ）の差によって達成できることに違いが生じる。

ネット記事 Full-Count 2023.08.06

「鳥谷と青木は違った」

世界で活躍する娘（アーティスティックスイミング日本代表）に…元広島戦士（比嘉寿光氏、広島
カープ元内野手、現編成課長）が伝授した“成功のコツ”

（早稲田大学で同期の）鳥谷（元阪神、元ロッテ）と青木（現ヤクルト）の目標と僕の目標は
設定が違っていた。僕（早稲田大学4年時に主将、4番打者）はどっちかというプロに入るのが
ゴール、鳥谷や青木にはプロに入って何年か後にはこれくらい稼いでFAをとって、という設定。

（ ）内の一部は講演者の注


講演者の反省

- もっと高い志（大きな世界観）をもって人生を歩むべきであった。
- いくつかの岐路で志が低かった。志を超えたところには到達できない。

若い人たちは高い志・大きな世界観をもって、人生を歩んでほしい。

感謝

ご指導いただいた先生方（指導教員、上司、同僚、他大学の先生方も含めて）
SICEの分野の学問及び産業の発展のために切磋琢磨してきた同世代の方々
共同研究を進めた企業の方々
斬新なアイデアを見付けてくれた多くの学生・元学生
計測自動制御学会の事務局の皆様

 IFAC'84	9 th World Congress
	BUDAPEST 1984

制御理論研鑽会(仮)第1回相談会記録
1984年7月6日 Room 1448, Hotel Forum, Budapestにて
出席者：片山, 木村, 荒木, 池田, 原
相談事項

1. 制御理論ないしシステム理論の発展に貢献したいという意志のある人を集めて、相互研鑽を目的とした会を持つことが提案され、了解を得た。
2. 会の形態は数日泊り込み。メンバーはclosedとして十分な討論が可能な人数に限定する。
3. 全員が各自まとまった話をすることを原則とする。ただし時間の都合を考えると、2回で1巡程度となる。

同世代の方々

4. 話の内容としては、そのトピックスについて出席者が十分に全貌を理解出来るようにtutorial的なものと、世界的視野での位置づけを入れること。当面特別な刷り物は作らず、別刷・ノートで済ます。
 5. Starting memberとして、とりあえず出席者以外に 瘦部, 美多, 細江, 酒井, 山本, 藤井(隆) 諸氏に呼びかけてみる。 松尾
 6. 第1回は京都にて、9月29日夜～10月3日朝まで。
場所：関西セミナーハウス(修学院)
附記 その後片山さんと少し話をしたところ、会の態様をもう少しはっきりさせていった方が良いのではないかという事になり、勝手に私が記録を作ってみました。 あしからず。
(荒木 記)
- 発送先：片山, 木村, 荒木, 池田, 原 および項目5の諸氏の中で賛同を得られた方々。