

平成 22 年 5 月 14 日現在

研究種目： 基盤研究(B)
 研究期間： 2007～2009
 課題番号： 19360396
 研究課題名(和文) Max-Plus代数システム表現に基づく船舶生産システムのスケジューリング
 研究課題名(英文) Scheduling of Ship Production System Based on System Representation by Max-plus Algebra
 研究代表者
 梶原 宏之 (KAJIWARA HIROYUKI)
 九州大学・大学院工学研究院・教授
 研究者番号： 30114862

研究成果の概要(和文)：

本研究では、コンベア化された造船ラインのスケジューリング問題を、Max-Plus代数に基づく線形システムとしてモデル化し、モデル予測方程式に基づいて、ジャストインタイム・スケジューリングを行う方法を提案した。特に、2隻1組を平行建造し、2組をタンデム建造する場合、ブロック投入順序とストックエリアの区画数の制約を考慮した大組工程のスケジューリングについて、現状よりストック数の少ない結果を得た。

研究成果の概要(英文)：

For scheduling problems of shipbuilding lines with conveyers and stockyards, the research proposed a just-in-time scheduling methodology using linear system representations based on Max-Plus algebra. Specifically, in the case of two-pairs-tandem production, it was shown that a block assembly line under the consideration of the input order of blocks and the number limitation of stocked blocks could be scheduled effectively.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	3,700,000	1,110,000	4,810,000
2008年度	3,600,000	1,080,000	4,680,000
2009年度	2,900,000	870,000	3,770,000
総計	10,200,000	3,060,000	13,260,000

研究分野： 工学

科研費の分科・細目： 総合工学・船舶海洋工学

キーワード： (1)造船所 (2)ブロック建造 (3)生産スケジューリング (4)同期
 (5)Max-Plus代数 (6)線形システム (7)モデル予測制御 (8)ジャストインタイム

1. 研究開始当初の背景

(1) 我国の造船業は、これまでになく、その生産性向上のための方策を求められている。これには、未曾有の船舶需要の中にあつて他国による激しい追い上げがあること、我国は少子高齢化の中にあつて数年後には退職を

迎える団塊世代に代わる後継労働者への技術伝承が容易ではないことなど、大手から中手への生産シフトの中にあつて中手は大手に比べて研究余力に乏しいことなど、多様な事情がある。ちなみに我国の自動車業界の生産性は世界一と言っても過言ではなく、その

生産管理技術を学ぶべきという意見は多いが、船舶生産システムについて、上流工程から下流工程まで一貫して、生産スケジューリングを行うことは至難の業であり、同様の生産管理体制を取れないのが現実である。しかしながら、昨今の造船業を取り巻く環境の変化は、船舶生産システムの生産性向上について、より科学的なアプローチを適用する機運を高めている。

2. 研究の目的

(1) 本研究では、造船業における更なる生産性向上のための研究の一環として、船舶生産システムのスケジューリング問題について、ダイナミックモデルに基づく体系的なアプローチを確立することを試みる。具体的には、次の3つの問題を設定し、これらの問題の解決のために有用な計算ツールおよび計算システムを提示することである。

(2) 【問題1】いま、ある k 番船につき、 $n_b(k)$ 個のブロックを一旦ストックし（先行艀装・塗装を含む）、これらを $m_b(k)$ 個に総組するブロック組立工程を考える。これらはドック内で搭載・溶接され、艀装・塗装を経て進水に至るものとする。このドック工程のピッチを維持するためには、その開始日前日までに、 $m_b(k)$ 個の総組ブロックが揃っていないといけない。ところが、タンDEM建造やパラレル建造の場合、当該番船の大組や総組における各ブロックの開始時期をいつにしたらよいかは自明ではない。また、各ブロックのストックについては、所定のドック工程ピッチを維持するために、どの程度のストック日数が必要か、またどの程度のストックエリア（ n_s 個のブロックを収納可能）が必要かの検討ができることが望ましい。また、工程の短縮が避けられない場合、たとえばストック日数を減らす必要があるが、適切な削減日数を得るための線形計画問題を定式化できれば望ましい。このような諸点を明らかにする問題を、「ブロック組立工程とドック工程の同期問題」とよぶことにする。

(3) 【問題2】問題1を真に解決するには、前工程のスケジューリングが欠かせない。すなわち、ブロックの大組を行うための部材（鋼板の水切・板線、切断後のパレットへの仕分、小組・中組を経て製作）の投入時期を、前問題の解として指定される時点までに取り揃えるスケジューリング問題である。ここでは、切断後には部材の点数が数万にも及ぶことから、CAD・データベース・分散処理等のIT（情報技術）をどう利用するかも問題となる。また、中手造船所は、いわゆるスチールヤードをもっておらず、同等の機能をどう実現するかも問題となる。このような諸

点を明らかにする問題を、「ブロック部材工程のスケジューリング問題」とよぶことにする。

(4) 【問題3】問題1と問題2の検討結果を踏まえて、両者を統合化する問題を、以下では「船舶生産システム全体のスケジューリング問題」とよぶことにする。

いま、ある k 番船につき、 $n(k)$ 個のブロックを一旦ストックし（先行艀装・塗装を含む）、これらを $m(k)$ 個に総組するブロック組立工程を考える。これらはドック内で搭載・溶接され、艀装・塗装を経て進水に至るものとする。このドック工程のピッチを維持するためには、その開始日前日までに、 $m(k)$ 個の総組ブロックが揃っていないといけない。ところが、複数船をタンDEM建造やパラレル建造する場合、当該番船の大組や総組における各ブロックの開始時期をいつにしたらよいかは自明ではない。また、各ブロックのストックについては、所定のドック工程ピッチを維持するために、どの程度のストック日数が必要か、またどの程度のストックエリア（ブロックを収納個数）が必要かの検討ができることが望ましい。さらに以上の要求項目を、中組、小組へと上流に遡って明らかにできることが望ましい。

3. 研究の方法

(1) 本研究の理論的枠組としては、Max-Plus 代数表現に基づく線形システムとして表わされる離散事象システムに対して、モデル予測制御方式による工程スケジューリングを試みる。船舶生産システムという大規模システムに、この方法論を適用するためには、専用の計算ツールの開発が欠かせない。本研究では、制御系設計はアプリケーションソフトウェア MATLAB/Simulink 上で稼働する Max-Plus 代数ツールボックスを拡張する形で、最も複雑なスケジューリング技術を要するタンDEMかつパラレルに複数隻を建造する場合に適用するために必要となる関数、特に、直達項を含む2ポート結合のための関数、コンベアラインのモデリングのための関数、ストックエリアのモデリングのための関数を開発する。

(2) 榑大島造船所の協力を得て、非同型船4隻の小組、中組、中間ストック、大組、ストック、総組の開始日と作業日数データに基づく、実際規模の問題を解く準備を行う。本研究では、2隻1組をタンDEM建造するドック工程のブロック搭載日程に合致するように数百個の各ブロックの組立工程開始日を決定する問題の解法を試みる。

4. 研究成果

(1) 本研究で提案した Max-plus スケジューリングの概要を簡単な例を用いて説明する。まず、前提条件として次を考える。

- ・想定する造船所は、shipA と shipB の2隻をサイクリックにタンデム建造するものとする。

- ・各船は、3つのブロック BLK01, BLK02, BLK03 から構成され、ストックエリアは1隻分（3つのブロックの置き場）が確保されているものとする。

- ・平行部ブロック BLK01 と BLK02 はコンベア CV01（2日ピッチで2個の区画が移動）で大組され、定盤 PL01 で総組されるものとする。曲り部ブロック BLK03 はコンベア CV02（2日ピッチで1個の区画が移動）で大組され、定盤 PL02 に設置されるものとする。

図 1a に ship A の大組・ストック・総組工程に関するガントチャートを示す。各段は、3つのブロック BLK01, BLK02, BLK03 に対応し、左から大組期間、ストック期間、総組セット日を表している。図 1a の左図は現状を、また右図は必要最小限のストック期間を表している。

同様に図 1b に ship B のガントチャートを示す。

本研究で考えるスケジューリング問題では、定められた総組セット日にジャストインタイムとなるように（図 1a と図 1b の太枠で囲った空白期間をできるだけなくすように）、各ブロックの大組開始日（部材投入日）を決定すること、その際、コンベアラインの区画数とストックエリアの区画数の制約を満足させることが要求される。

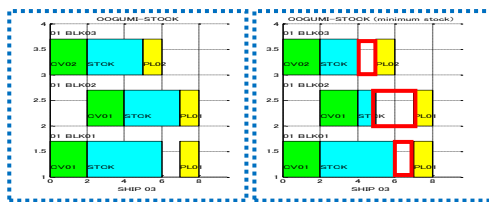


図 1a ship A に対するガントチャート

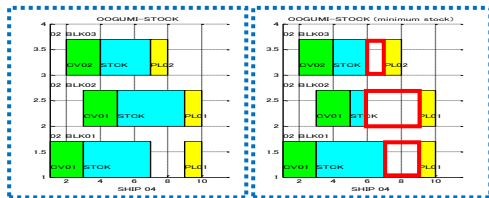


図 1b ship B に対するガントチャート

上述のスケジューリング問題に対し、本研究では、コンベアラインとストックエリアを、

Max-Plus 代数表現された線形システムとしてモデル化し、これを工程の構成に合わせて結合し、工程全体のモデルを線形システム

$$x(k) = A \otimes x(k-1) \oplus B \otimes u(k) \quad (1)$$

$$y(k) = C \otimes x(k)$$

として得る。ここで、 k は k 番目の生産サイクルを表し、状態 x は各ブロックの大組開始日およびストック開始日、入力 u は各ブロックの部材投入日、出力 y は各ブロックのストック完了日を表す。そこで、1段予測方程式

$$y(k) = C \otimes B \otimes u(k) \quad (2)$$

に基づいて、定められた総組セット日を z とするとき

$$C \otimes B \otimes u(k) = z(k) \quad (3)$$

に対する最大解 u を求め、各ブロックの部材投入日を決定するのが、Max-Plus スケジューリングの枠組である。

(3) 【提案法 1】ここでは、2隻をタンデム建造し、ブロックのストックエリアが1隻分しか確保されていない場合、搭載日程の早い方のブロックから製作する。このとき、全体システムは、船毎にモデルを立てるか、工程毎にモデルを立てるかによって2通り、ストック制限を工程毎につけるか、全体としてつけるかで2通りに分けられる。本研究ではどの場合でも同一の結果(図 2)を得ており、図 1a, 図 1b で太枠で囲った無駄なストック期間の総和は 10 日から 4 日に減っている。

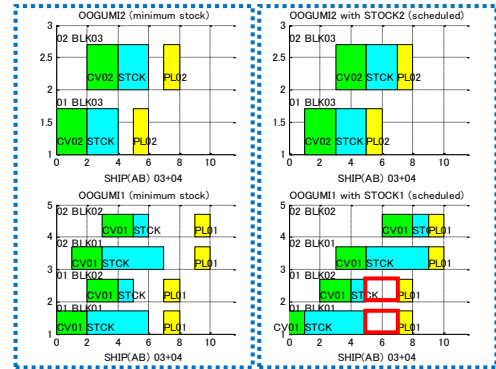


図 2 提案法 1 によるスケジューリング

(4) 提案法 1 では、2隻のブロックを混入することを想定していなかったが、現状のスケジューリング法では、総組セット日から最小ストック期間を引いたストック開始日の早いブロックから投入している。ただし、コンベアラインとストックエリアの区画数の制約は事後的に確認し、満足していない場合は手作業で調整している。現状のスケジューリング

法による最終結果を図 3a に、またその中間結果を図 3b に示す。図 3b の左図は、総組セット日から最小ストック期間を引いたストック開始日でソーティングした結果を示し、これに従来法を適用した結果を図 3b の右図に示している。無駄なストック期間の総和は無くなっているが、図 3a の太枠で示すように、ストックエリアの区画数の制約は満足されていない。

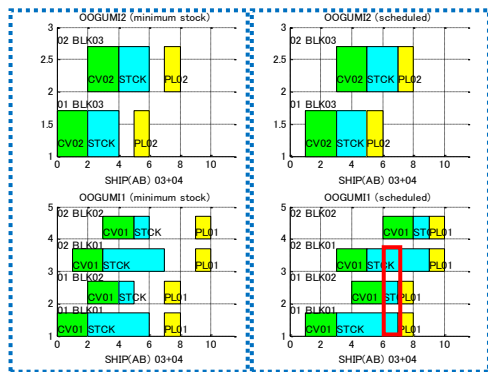


図 3a 現状のスケジューリング

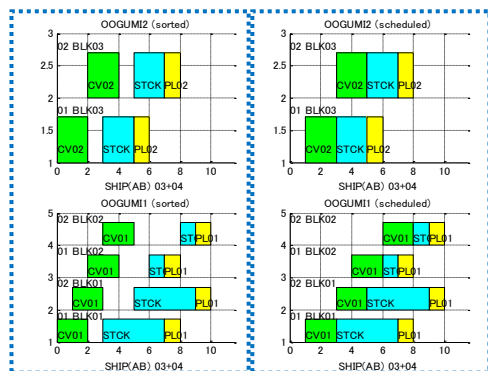


図 3b 現状のスケジューリング(中間結果)

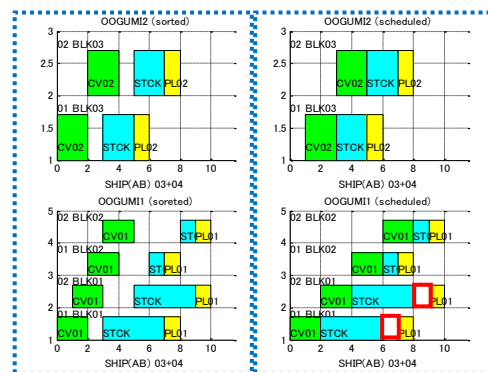


図 4 提案法 2 によるスケジューリング

(5) 現状のスケジューリング法にストックエリアの区画数の制約は満足させるために、ストックエリアのモデルを連結させることを考える。これに基づく提案法 2 の最終結果を図 4 に示す。無駄なストック期間の総和は 10 日から 2 日に減っており、提案法 1 より優れていることがわかる。

(6) 前節で述べた Max-Plus スケジューリングの方法(提案法 1 と提案法 2)を、実工程(2 隻 1 組を平行建造し、2 組をタンデム建造する大組・ストック・総組工程、1 サイクル 4 隻 ship A, ship B, ship C, ship D)に適用した。表 1 に、コンペラインの区画数(m)・ピッチ(c)とストックエリアの区画数を示す。表 2 に、ある生産サイクルにおける 4 隻分のブロック数を示す。全工程を Max-Plus 代数表現された線形システム(1)としてモデル化した場合、状態変数の個数は 478 個となる。この 4 隻に対して、提案法 1 (Max-Plus1)を適用した結果を図 5a~5d に示す。また、提案法 2 (Max-Plus2)を適用した結果を図 6a~6d に示す。いずれも左図が現状のスケジューリング(図 1a, 図 1b の右図に相当)を、右図は Max-Plus スケジューリングの結果を示している。また、両者の無駄なストック期間の総和を計算した結果を表 3 に示す。これから提案法 1 (Max-Plus1)は現状(Actual)より増やしているが、提案法 2 (Max-Plus2)は現状の半分に減らしており、ブロック投入順序を考慮した大組工程のスケジューリングの効果が確かめられる。

表 1 大組工程とストックエリアの容量

	line1	line2	line3	line4	line5	line6	stock1	stock2
m	8	10	4	9	7	4	75	66
c	7/8	7/10	6/4	5/9	5/7	4/4	-	-

表 2 大組工程のブロック処理数の例

	line1	line2	line3	line4	line5	line6	239
Ship A	5	13	8	26	14	8	74
Ship B	7	9	4	14	8	4	46
Ship C	17	9	8	16	17	0	67
Ship D	7	9	4	15	10	4	49

表 3 無駄なストック期間の総和

	Actual	Max-Plus 1	Max-Plus 2
Ship A	333	583.7	212.6
Ship B	150	166.1	96.57
Ship C	304	275.9	122.4
Ship D	178	27.77	52.9
sum	965	1053.47	484.47

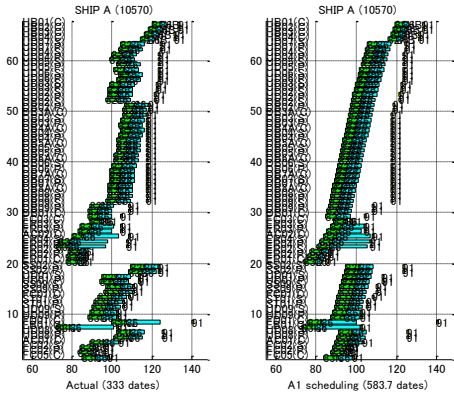


図 5a ship A への提案法 1 の適用

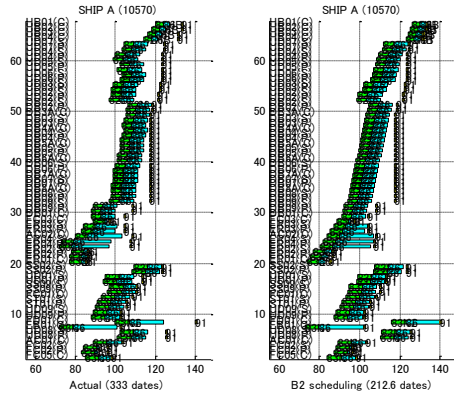


図 6a ship A への提案法 2 の適用

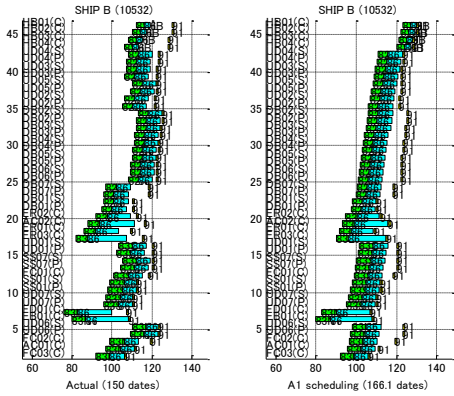


図 5b ship B への提案法 1 の適用

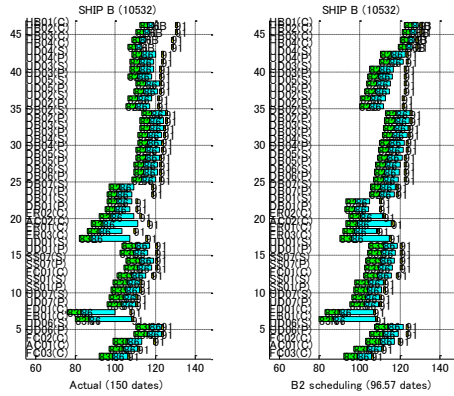


図 6b ship B への提案法 2 の適用

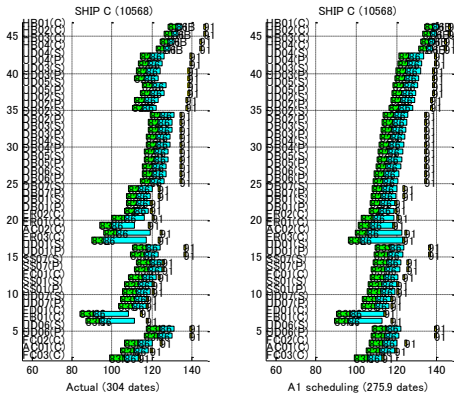


図 5c ship C への提案法 1 の適用

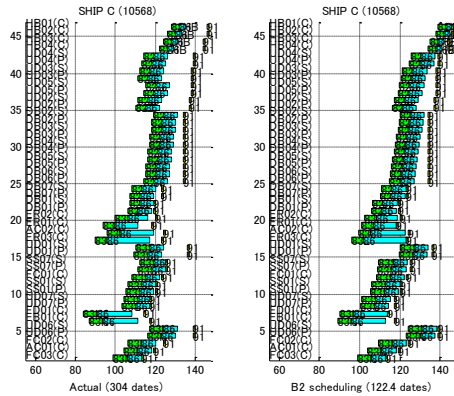


図 6c ship C への提案法 2 の適用

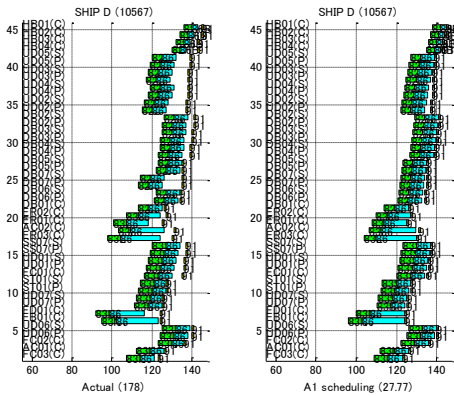


図 5d ship D への提案法 1 の適用

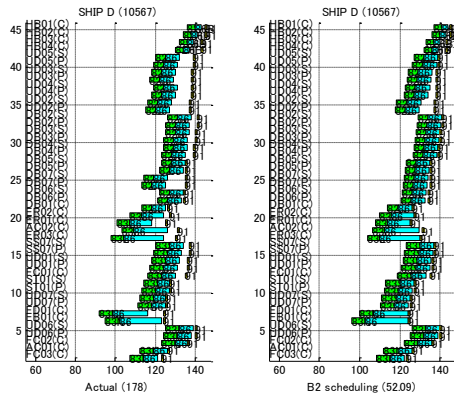


図 6d ship D への提案法 2 の適用

(7) 現状のスケジューリングにおいて、コンベアラインとストックエリアの区画数の制約は事後的に確認しているが、本研究では、これらの制約を考慮したMax-Plus スケジューリング法について考察した。特に、ブロック投入順序を考慮した大組工程のスケジューリングの有効性を確認した。しかし実際には、各ブロックは、最小ストック期間（先行艀装期間）が終わっても、総組セット日まではストックされる。したがって、最終的なストック期間はスケジューリング後に確定するといえる。すなわちストックエリアの区画数の制約を考慮するためには、1段予測方程式(2)の係数行列 C が未知のストック期間を含むことになり、これへの対応は今後の課題である。一方で、提案法1は、2段予測方程式を用いた2つの生産サイクルの同時スケジューリングが可能となるメリットがあるので、更なる改良が期待される。

(8)以上、2. 研究目的で述べた船舶生産システムのスケジューリング問題を検討するために開発した計算ツールとその応用結果について述べた。一方、そのための計算システムの構築も行った。図7、図8に構築したデジタル造船所の例を示す。

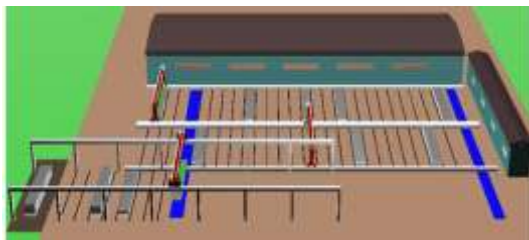


図7 水切仕分場のスケジューリング



図8 切断部材パレット化のスケジューリング

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計3件)

- ① Hiroyuki KAJIWARA, Youichi NAKAO:
An Approach to Scheduling Problems of Shipbuilding Lines Based on Discrete-Event System Theory,
Proc. of International Conference on

Computer Applications in Shipbuilding,
2007

- ② Hiroyuki KAJIWARA, Yasuhiro Hitoi:
Youichi Nakao:
On Scheduling a Shipbuilding Line Based on Max-plus System Dynamic Representation,
CDROM of The ICROS-SICE International Joint Conference, paper#2B14-6, 2009
- ③ Hiroyuki KAJIWARA, Yasuhiro Hitoi,
Youichi Nakao :
Max-Plus-Algebra Based Scheduling of a Ship Building Line,
Proc. of International Conference on Computer Applications in Shipbuilding,
pp. 149-155, 2009

[学会発表] (計3件)

- ① 梶原, 中尾: Max-Plus 代数に基づく造船ラインのスケジューリング問題の解法について, 日本船舶海洋工学会講演会論文集, 第4号, pp. 355-356, 2007
- ② 梶原, 人位, 中尾, 高江: 造船ラインのMax-Plus スケジューリングに関する研究, 一定盤数の制約を厳守するためのコンベアモデルの改良, 日本船舶海洋工学会講演会論文集, 第8号, pp. 547-548, 2009
- ③ 梶原, 人位: 造船ラインのMax-Plus スケジューリングに関する研究, 大組・総組工程のプルタイプ・スケジューリング, 日本船舶海洋工学会講演会論文集, 第9号, pp. 53-54, 2009

6. 研究組織

(1) 研究代表者

梶原 宏之 (KAJIWARA HIROYUKI)
九州大学・大学院工学研究院・教授
研究者番号: 30114862

(2) 研究分担者

木村 元 (HAJIME KIMURA)
九州大学・大学院工学研究院・准教授
研究者番号: 40302963
※平成20年度より連携研究者

(3) 連携研究者

木村 元 (HAJIME KIMURA)
九州大学・大学院工学研究院・准教授
研究者番号: 40302963