

令和 3 年 6 月 4 日現在

機関番号：17401

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2017～2020

課題番号：17K05348

研究課題名(和文)代数的符号理論とマトロイド理論の架け橋～極値問題とネットワーク符号化の新展開～

研究課題名(英文)The links between algebraic coding theory and matroid theory

研究代表者

城本 啓介 (Shiromoto, Keisuke)

熊本大学・大学院先端科学研究部(工)・教授

研究者番号：00343666

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,300,000円

研究成果の概要(和文)：代数的符号理論における符号の存在問題および構成法の研究を土台にして、マトロイド理論とネットワーク符号化理論における同種の問題の研究を実施した。その結果、(1)表現マトロイドの臨界指数の限界式に関するWalton-Welsh予想の一部解決、(2)接ブロックマトロイドの構成法の提案、(3)有限体上の階数距離符号に関するマトロイド的恒等式およびWei型の双対恒等式の証明について、成果を得ることができた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

符号理論とは、デジタル情報を伝送または記録する際に生じる誤りを理論的に訂正するための誤り訂正符号の理論であり、その代数構造に着目して数値的研究をおこなうことが代数的符号理論である。本研究において得られた研究成果については、主にグラフと符号の広義の統一化が進み、グラフ理論の様々な結果がマトロイドを介して符号理論へフィードバック可能となると予想する。また、準一様符号に対する組合せ論的アプローチより広い意味でネットワーク符号化に関する新たな観点からの応用研究が可能になることが期待される。

研究成果の概要(英文)：Based on the existence problems and the construction problems in algebraic coding theory, we studied same kinds of problems in matroid theory and network coding theory. Then we mainly had the following results: (1) We proved a special case of the Walton-Welsh conjecture on the critical exponents if representable matroids. (2) We gave some constructions of tangential blocks in matroid theory. (3) We proved a matroidal equation and a Wei type duality for rank-metric codes over a finite field.

研究分野：代数的符号理論

キーワード：符号理論 マトロイド ネットワーク符号化 階数距離符号 臨界指数

1. 研究開始当初の背景

数学の諸分野において、ある数学的特性をもつ構造が存在するか否かを考察する存在問題、また存在する場合には、どのようにしてその対象を構成するかという構成法についての研究がある。符号理論・マトロイド理論およびネットワーク符号化理論においても同様で、主に以下のような研究がある。

(1) 符号理論における存在問題・構成法

符号理論とは、デジタル情報を伝送または記録する際に生じる誤りを理論的に訂正するための誤り訂正符号の理論であり、その代数構造に着目して数理的研究をおこなうことが代数的符号理論である。有限体(有限環)上の(線形)符号とは、有限体上のベクトル空間の部分空間(有限環上の自由加群の部分加群)のことである。

代表的な存在問題・構成法の研究としては、与えられたパラメータ(符号長、次元、最小重み、重み分布、一般化重み等)をもつ符号の存在・非存在を考察するために、各パラメータに関する限界式の導出およびその等号を満たす最適な符号の存在性の検討・構成法の提案や自己双対性や巡回性のような特殊な数理構造をもつ符号族について、自己同型群や重み多項式などを用いた存在条件・分類問題の考察あるいは最適な符号族に関する多項式的特徴付けなどがある。

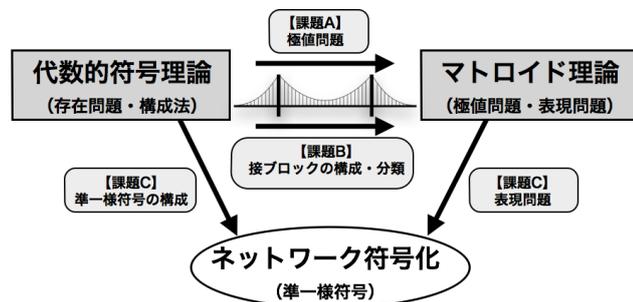
(2) マトロイド理論・ネットワーク符号化における存在問題・構成法

マトロイドとは、ベクトルの1次独立・従属の概念を公理化し、有限集合上に拡張した組合せ構造である。純粋な構造研究のみならず、組合せ最適化問題やその他の工学分野等への応用研究が積極的に展開されている。主な種類として、グラフの木構造から得られるグラフ的マトロイドや代数的閉体から得られる代数的マトロイド、有限体上の行列から得られる表現マトロイドなどがある。主な古典的問題として、与えられたマトロイドがどの体上の表現マトロイドか(表現問題)、与えられたパラメータや数理構造をもつマトロイドの存在・分類問題などが考えられている。表現マトロイドの臨界指数とは、与えられた列ベクトルの集合に対して、それらと排反である部分空間の最大次元のことであり、Crapo-Rotaにより導入された。特に、マトロイドの特性多項式の正值性やグラフの頂点彩色数などの重要なパラメータと密接に関係することが知られている。極値問題とは、与えられた表現マトロイドに対して臨界指数を決定することである。主な関連結果として、グラフでの削除・縮約によるマイナーの概念の拡張であるマトロイドマイナーに着目したグラフ理論的アプローチにより、極小マイナー族を用いた限界式や禁止マイナーや表現体によって類別された族に応じた臨界指数の評価などがある。接ブロックとは任意のマイナーの臨界指数がある数(共有次元)以上である表現マトロイドのことであり、位数2,3の体上で小さい次元での分類や帰納的構成法などの研究がある。

近年のネットワーク通信における高速化・高信頼化に対応するための新たな手法としてマルチキャスト通信を対象としたネットワーク符号化がある。符号化方式の違いから従来の通信で用いられてきた誤り訂正符号をより抽象化した符号が必要であり、その1つとして準一様確率変数から誘導された準一様符号がある。また、ネットワーク符号化容量の限界値を達成するネットワークとして、特徴的な非表現マトロイドの1つであるVámos matroidから構成されたネットワークが知られている。

2. 研究の目的

研究代表者はこの数年間、異分野の研究者らと共同研究を進める中で、組合せ論を含めた様々な分野において存在・構成問題に識別される問題があり、それらの解決に符号理論の研究で培った手法が有効であることを実感してきた。特に、符号の概念を導入してマトロイドの研究を展開した過程において、表現マトロイドに代えてその行列を生成行列とする符号を考えることでマトロイドの古典的問題を再考察した。なかでも極値問題に関しては、臨界指数を符号の新たなパラメータとして認識できたことから、符号理論的視点から関連問題を研究することが解決に向けた新たな方向性になり得るのではないかと考えた。また、量子ジャンプ符号の存在定理および構成や有限環上の符号を用いた量子信号・量子通信路行列の構成の各研究過程において、有限体上の線形符号の一般化に取り組む中で、ネットワーク符号化と関連した準一様符号の存在・構成問題と出会い、同時にその符号から効果的なネットワークを実現する非表現マトロイド族(含、Vámos matroid)が構成可能ではないかと考えた。このようなことから、以下の3つの課題の解決を本研究の目的とした。



本研究における各研究課題の構造

符号理論的視点から関連問題を研究することが解決に向けた新たな方向性になり得るのではないかと考えた。また、量子ジャンプ符号の存在定理および構成や有限環上の符号を用いた量子信号・量子通信路行列の構成の各研究過程において、有限体上の線形符号の一般化に取り組む中で、ネットワーク符号化と関連した準一様符号の存在・構成問題と出会い、同時にその符号から効果的なネットワークを実現する非表現マトロイド族(含、Vámos matroid)が構成可能ではないかと考えた。このようなことから、以下の3つの課題の解決を本研究の目的とした。

【課題 A】マトロイドの臨界指数に関する極値問題の考察

極値問題へ符号理論的観点からアプローチすることで、(1) 任意の表現マトロイドに対して、対応する符号の最小重みや自己同型群の構造などに付随したパラメータを用いた臨界指数の限界式の導出およびその等号をみたすマトロイド族の構成、(2) 禁止マイナーや係数体 (位数 2,3,4) により類別された符号族に特化した臨界指数の限界式 (あるいは限界値) の導出、をおこなう。

【課題 B】接ブロックマトロイドの構成・分類

接ブロックの分類に関する未解決問題を符号の存在性・分類等の方向から検討するために、(1) 接ブロックに対応する符号族の特徴 (重み分布や自己同型群等) を明確にした上で、数種類の構成法を提案、(2) (1)の符号の分類アルゴリズムを考案し、共有次元 2 で 2 元体上のものについて理論的分類をおこなう。

【課題 C】準一様符号の構成とその表現マトロイドの構造解析

(1) 有限環の鎖構造や射影幾何のフラットの階層構造等を用いた準一様符号の構成、(2) 準一様符号から構成されるマトロイドの特徴付け (主に、非表現性とネットワークへの有効性等) をおこなう。

3. 研究の方法

本研究における主な研究方法としては、各課題における豊富な具体例作成のための計算データの採取をおこない、本研究組織の支援のもと代数的・組合せ論的に様々な方向から考察することで、それらの特性を理論的に系統化および一般化することであった。そのために、進捗状況に応じて連携研究者らと研究打合せやセミナー等で議論を深めることで、問題解決を目指した。課題ごとの具体的な研究方法は以下の通りであった。

【課題 A】について

臨界指数についての符号理論的立場からの理解をより深めるために、以下の方法で検討を進めた。

- (1) 表現マトロイドとそれに対応した符号に対して、臨界指数および禁止マイナーと最小重み・自己同型群等の符号パラメータとの関係を明確にする。具体的には、代表的なマトロイドマイナーである完全グラフ・完全 2 部グラフやファノ平面・アフィン平面を禁止マイナーとする具体的な表現マトロイドおよび符号を構成し、その臨界指数を出力する MAGMA プログラムを作成し符号の次元・重み分布・自己同型群等のパラメータと共に計算データを採取する。
- (2) (1)において採取した臨界指数等に関する計算データの解析をもとに、自己同型群の構造や重み分布等の符号のパラメータを用いて、目標としていた臨界指数の一般的な限界式を導出し、その等号をみたす符号を構成する。
- (3) 位数 2, 3, 4 の表現体の禁止マイナーをもつ表現マトロイド族とそれに対応する符号族の類別をおこない、臨界指数の計算データをもとにそれぞれの族に特化した限界式または限界値を、2 元体上では対応するグラフ構造も加味して、いくつかの方向から証明する。その上で、Walton-Welsh 予想との関連性を詮索する。

【課題 B】について

接ブロックマトロイドの構成・分類問題に対して、符号の構成・分類問題の観点から研究期間を通じて研究を進めていくために、下記の方法で研究をおこなう。

- (1) 与えられた共有次元と表現体をもつ接ブロックマトロイドを生成行列とする線形符号の特徴を理論的に把握する。具体的には、双対性や重み分布の特徴の解析、部分符号族に関する幾何学的意味付け、自己同型群の構造解析、2 元体上のものに関しては空間として対応するグラフの構造解析、等の検討をおこなう。
- (2) 接ブロックの構成法を提案するために、(1)で得られた符号の特徴付けを発展させて、符号が接ブロックを構成するための必要十分条件を導く。そのために、【課題 A】と同様に体上の具体的な符号を計算機上で構成し、それぞれが接ブロックになっているかを検証するプログラムを作成・実行する。
- (3) (1)、(2)で得られた具体例の解析から符号の接ブロックへの対応条件を導き、特に符号の幾何学的・代数的・グラフ的構成へ注力することで数種類の構成法を提案する。
- (4) (3)で検討した符号の対応条件を用いて分類アルゴリズムの考案をおこなう。

【課題 C】について

準一様符号の構成およびそのマトロイド表現の研究に関して下記の方法で研究をおこなう。

- (1) 有限体の直積を係数集合とした準一様符号の特別なクラスである弱アフィン符号の構成に重点をおく。具体的には、位数 5 以下の体の直積を係数集合とした長さ 40 以下のベクトルの集合に対して、均一性をチェックするアルゴリズムを検討・実装し、弱アフィン符号の具体例の作成をおこなう。
- (2) (1)で得られた弱アフィン符号の具体例から抽出されているベクトルの相互関係を射影幾何の点配置に対応させて特徴を分析する。それらの関係を一般化することで弱アフィン符号の数種類の構成法を提案する。その後、これらの構成法を有限環や一般の有限集合の拡張することで、準一様符号の構成法の提案へ繋げる。

4. 研究成果

本研究期間における具体的な研究課題は、【課題A】マトロイドの臨界指数 (critical exponent) に関する極値問題の考察, 【課題B】接ブロックマトロイド (tangential blocks) の構成・分類, 【課題C】準一様符号 (quasi-uniform codes) の構成およびその表現マトロイドの構造解析, の3つであった。以下が、各研究課題における主な成果である。

【課題A】について

- (1) 臨界指数についての符号理論的立場からの理解をより深めるために、まずは表現マトロイドとそれに対応した符号に対して、臨界指数および禁止マイナーと符号パラメータ (主に、最小ハミング重みと自己同型群の構造) との関係を明確にした。
- (2) (1)において考察した臨界指数および禁止マイナーと対応する符号パラメータ (主に、最小ハミング重みと自己同型群の構造) との関係をもとに限界式の考察をおこなった。その結果、禁止マイナーとして位数5の完全グラフをもつ2元体上の表現マトロイドの臨界指数の限界式に関するWalton-Welsh予想について、低い次元に関しては成立することを証明することができた。
- (3) 有限鎖環上の符号について、符号の型とモジュラー独立の概念を用いて新たに臨界指数の概念を導入し、環上の符号に関する臨界定理、Kung型の限界式及びその等号を満たす符号の存在について証明を行った。

【課題B】について

- (1) 接ブロックマトロイドの構成・分類問題に対して、符号の構成・分類問題の観点から、与えられた共有次元と表現体をもつ接ブロックマトロイドを生成行列とする線形符号を具体的に構成した。
- (2) 有限環上の行列を用いて接ブロックマトロイドを構成するための十分条件を導出した。

【課題C】について

- (1) 有限体上の階数距離符号の一般化階数重みを新たに定義して、そのパラメータに関する具体的な計算を行い、双対性に関する計算データを収集した。
- (2) 弱アフィン符号および準一様符号に対して、それらから構成されるマトロイドの体上での表現・非表現性をマイナーによって特徴付けし、対応するネットワークについて、エントロピー関数のシャノン型不等式等を照査した。
- (3) (1)において有限体上の階数距離符号に関して定義した一般化階数重みの概念をマトロイドへ拡張し、demi-polymatroidという新たな組合せ構造を導入した。そのことで、通常の有限体上の線形符号の一般化重みについて成立する双対性であるWei双対恒等式をdemi-polymatroidにまで一般化して証明することができた。
- (4) (3)で導入したdemi-polymatroidに対するTutte型の多項式を新たに定義し、有限体上の階数距離符号の階数重み多項式との恒等式を証明した。また、その恒等式を用いることで、階数距離符号の階数重み多項式に関する双対性であるMacWilliams型恒等式の組合せ論手法による別証明を与えることができた。
- (5) 準一様符号から構成されるポリマトロイドについて、構造の解析及び臨界指数の上限界式を証明した。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計11件（うち査読付論文 10件 / うち国際共著 3件 / うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Keisuke Shiromoto	4. 巻 87
2. 論文標題 Codes with the rank metric and matroids	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Designs, Codes and Cryptography	6. 最初と最後の頁 1765-1776
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s10623-018-0576-0	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Shuya Chiba, Yoshimi Egawa, Jun Fujisawa, Akira Saito, Ingo Schiermeyer, Masao Tsugaki, Tomoki Yamashita	4. 巻 88
2. 論文標題 On 2-factors with a specified number of components in line graphs	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Acta Mathematica Universitatis Comenianae	6. 最初と最後の頁 541-546
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する
1. 著者名 Shuya Chiba, Michitaka Furuya, Kenta Ozeki, Masao Tsugaki, Tomoki Yamashita	4. 巻 26
2. 論文標題 A degree sum condition on the order, the connectivity and the independence number for Hamiltonicity	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Electronic Journal of Combinatorics	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -
1. 著者名 Guantao Chen, Shuya Chiba, Ronald J. Gould, Xiaofeng Gu, Akira Saito, Masao Tsugaki, Tomoki Yamashita	4. 巻 343
2. 論文標題 Spanning bipartite graphs with high degree sum in graphs	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Discrete Mathematics	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.disc.2019.111663	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Koga Yoshitaka, Maruta Tatsuya, Shiromoto Keisuke	4. 巻 86
2. 論文標題 On critical exponents of Dowling matroids	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Designs, Codes and Cryptography	6. 最初と最後の頁 1947 ~ 1962
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s10623-017-0431-8	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Chiba Shuya	4. 巻 341
2. 論文標題 On degree sum conditions for 2-factors with a prescribed number of cycles	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Discrete Mathematics	6. 最初と最後の頁 2912 ~ 2918
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.disc.2018.06.045	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Roman Cada, Shuya Chiba, Kenta Ozeki, Kiyoshi Yoshimoto	4. 巻 31
2. 論文標題 On dominating even subgraphs in cubic graphs	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 SIAM Journal on Discrete Mathematics	6. 最初と最後の頁 890 ~ 907
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1137/16M1066622	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 千葉 周也	4. 巻 -
2. 論文標題 指定した成分数の2-因子と次数和条件	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 日本数学会2017年度秋季総合分科会応用数学分科会講演アブストラクト	6. 最初と最後の頁 31 ~ 40
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Shuya Chiba, Tomoki Yamashita	4. 巻 34
2. 論文標題 Degree conditions for the existence of vertex-disjoint cycles and paths: a survey	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Graphs and Combinatorics	6. 最初と最後の頁 1 ~ 83
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s00373-017-1873-5	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Shuya Chiba, Tomoki Yamashita	4. 巻 32
2. 論文標題 On directed 2-factors in digraphs and 2-factors containing perfect matchings in bipartite graphs	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 SIAM Journal on Discrete Mathematics	6. 最初と最後の頁 394 ~ 409
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1137/16M1108959	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計22件 (うち招待講演 6件 / うち国際学会 15件)

1. 発表者名 近藤 隼史, 城本 啓介
2. 発表標題 Generalized Weight Enumerators of Rank-Metric Codes and Matroids
3. 学会等名 42nd Australasian Conference on Combinatorial Mathematics and Combinatorial Computing (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 今村 浩二, 城本 啓介
2. 発表標題 Critical problem forces over Z_{p^e}
3. 学会等名 42nd Australasian Conference on Combinatorial Mathematics and Combinatorial Computing (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 近藤 隼史, 城本 啓介
2. 発表標題 Generalized Weights of Rank-Metric Codes and Matroids
3. 学会等名 Japanese Conference on Combinatorics and its Applications
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 今村 浩二, 城本 啓介
2. 発表標題 Critical Problem for Codes over Finite Rings
3. 学会等名 Japanese Conference on Combinatorics and its Applications
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 城本 啓介
2. 発表標題 The Critical Problem for Binary Matroids
3. 学会等名 27th British Combinatorial Conference (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 千葉 周也
2. 発表標題 On 2-factors with a specified number of components in line graphs
3. 学会等名 European Conference on Combinatorics, Graph Theory and Applications (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 千葉 周也, 山下 登茂紀
2. 発表標題 The existence of a 2-factor with a specified number of components in a line graph
3. 学会等名 Japan-Mongolia Joint Workshop on Pure and Applied Mathematics (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Keisuke Shiromoto
2. 発表標題 Critical Problem for Binary Matroids
3. 学会等名 Monash Univ. Discrete Maths Research Group Meeting (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Keisuke Shiromoto
2. 発表標題 Critical Problem for Binary Matroids
3. 学会等名 The 17th Japan-Korea Workshop on Algebra and Combinatorics (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Keisuke Shiromoto
2. 発表標題 Codes with Rank Metric and Matroids
3. 学会等名 The Japanese Conference on Combinatorics and its Applications (JCCA 2018) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Keisuke Shiromoto
2. 発表標題 Critical Problem for Binary Matroids
3. 学会等名 41st Australasian Conference on Combinatorial Mathematics and Combinatorial Computing (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Shuya Chiba
2. 発表標題 Degree conditions for partitioning graphs into chorded cycles
3. 学会等名 The Japanese Conference on Combinatorics and its Applications (JCCA 2018) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Shuya Chiba, Suyun Jiang, Jin Yan
2. 発表標題 Degree conditions for partitioning a graph into cycles with a specified number of chords
3. 学会等名 41st Australasian Conference on Combinatorial Mathematics and Combinatorial Computing (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 城本 啓介
2. 発表標題 Critical Problem for Binary Matroids
3. 学会等名 研究集会「組合せ論の符号理論」
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 千葉 周也
2. 発表標題 2-factors with a prescribed number of cycles in line graphs
3. 学会等名 2018年軽井沢グラフと解析研究集会II
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Keisuke Shiromoto
2. 発表標題 Critical Problem for matroids and Codes
3. 学会等名 Discrete Structures and Algorithms Seminar in University of Melbourne (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Keisuke Shiromoto
2. 発表標題 Matroids and Codes with Rank Metric
3. 学会等名 5th International Combinatorics Conference (5ICC) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 城本 啓介
2. 発表標題 Codes with Rank-Metric and Matroids
3. 学会等名 Japanese Conference on Combinatorics and its Applications (JCCA2017)・離散数学とその応用研究集会2017
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 城本 啓介
2. 発表標題 On the Critical Problem for Matroids and Codes
3. 学会等名 愛媛大学数学科談話会/第45回代数セミナー（招待講演）
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Shuya Chiba
2. 発表標題 2-factors with a prescribed number of cycles in claw-free graphs
3. 学会等名 9th Workshop on the Matthews-Sumner Conjecture and Related Problems (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Shuya Chiba
2. 発表標題 On degree sum conditions for 2-factors with a prescribed number of cycles
3. 学会等名 5th International Combinatorics Conference (5ICC) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 千葉 周也
2. 発表標題 指定した成分数の2-因子と次数和条件
3. 学会等名 日本数学会2017年度秋季総合分科会（招待講演）
4. 発表年 2017年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

所属学科ホームページの研究紹介
https://www.fast.kumamoto-u.ac.jp/wp/wp-content/uploads/2018/04/keisuke_shiromoto.pdf

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	千葉 周也 (Chiba Syuya) (80579764)	熊本大学・大学院先端科学研究部(工)・教授 (17401)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関		
オーストラリア	University of New South Wales	Monash University	