

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 5 月 19 日現在

機関番号：13901

研究種目：基盤研究(B)

研究期間：2010～2014

課題番号：22340016

研究課題名(和文)種々の情報通信系に内在する組合せ符号とその識別・復号アルゴリズムの研究

研究課題名(英文)Combinatorial codes and their decoding algorithms related to various information transmission systems

研究代表者

神保 雅一 (JIMBO, Masakazu)

名古屋大学・情報科学研究科・教授

研究者番号：50103049

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 12,500,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、情報通信に関連する組合せ構造の最適性、存在問題、構成法などについて研究を行い、以下の成果を得た。1) 重みが3, 4の最適なconflict-avoiding codeの構成法を与えた。2) 光直交符号に関連して、affine-invariantスタイナー4重系の構成法を与えた。3) mutually orthogonal t-designsの概念導入して量子ジャンプ符号を定式化し、旧来のt-designを複素数体上に拡張し、その存在性を議論した。4) 統計的に最適な2重同心球面上の点配置の構成法を与えた。5) グループテストを表わす2部グラフが正則のとき、識別確率が高いことを示した。

研究成果の概要(英文)：In this project, the following results for combinatorial structures related to information communication systems are obtained. (i) Constructions of conflict-avoiding codes with weights three and four are obtained. (ii) Constructions of affine-invariant SQSs are obtained. (iii) Quantum jump codes are characterized as families of mutually orthogonal t-designs and their existence are discussed. (iv) Constructions of some optimal Euclidean designs on concentric spheres are obtained. (v) Optimality, in the sense of detecting probability of positive items, of a regular bipartite graph representing a group testing is clarified.

研究分野：離散数学とその応用

キーワード：組合せデザイン 衝突回避符号 量子ジャンプ符号 光直交符号 t-MOD 球面デザイン グループテスト

1. 研究開始当初の背景

組合せデザインの研究は、統計的実験計画法の最適実験の構成への応用が契機となって盛んに研究がおこなわれるようになった。その後、情報通信のための符号・暗号の理論への応用も見出され、最近では、多元接続通信、量子符号にもその適用分野が広がっている。

多元接続の分野では、CDMA(code division multiple access)と呼ばれる通信方式のための光直交符号(OOC, optical orthogonal code), CAC(conflict-avoiding code)などの符号の研究がなされているが、これらの符号は組合せ符号と総称され、組合せデザインの研究と非常に密接にかかわっており、近年、組合せ論、情報通信関係の学会誌、専門誌に多くの研究成果が発表されてきた。研究代表者および分担者も組合せ符号の研究に関する成果を発表している。

量子符号の分野でも、組合せデザインに関わる組合せ構造が有用である。研究代表者と分担者の城本は、2003年頃、ドイツの研究グループによって見出された量子コンピュータの記憶素子の記憶誤りの訂正に特化した量子ジャンプ符号に注目し、その組合せ論的特徴に注目し、研究を開始した。ドイツの研究グループでは、t-SEEDと呼ばれる組合せデザインの族の存在・構成問題を研究の主眼としていたが、本研究では、より広い観点から量子ジャンプ符号を複素数体上の組合せ構造の研究と見なして研究を始めた。

これまで、球面上の点配置については、代数的側面、数値解析的側面、統計的側面などから個々の分野で独自に研究が発展してきたが、最近、研究分担者澤らにより、これらの各分野の統合的研究がなされるようになってきた。特に、統計的観点からの球面デザインは rotatable design として、主に計算機を用いてデザインを構成し、その最適性が評価される研究が主であった。

グループテストについて、研究代表者らは、これまでの研究で、遺伝子情報解析のための pooling 実験において、グループテストの識別アルゴリズムに Belief Propagation(BP)アルゴリズムが有効であることを示してきた。一方で、グループテストと似た組合せ構造を持つ LDPC 符号や ALOHA 通信における復号化アルゴリズムの場合は、その構造を表わす 2 部グラフが正則 2 部グラフでない方がよいことが示されているが、グループテストについてはまだそのような結果は知られていない。

2. 研究の目的

本研究では、上記の背景をもとに、下記の研究を行うことを目的とした。

- (1) 多元接続に関する研究は多岐にわたるが、本研究では、特に組合せ符号に焦点を絞ってその最適性、存在・構成問題を考える。特に、conflict-avoiding code(CAC, 衝突回避符号)、光直交符号をターゲット

して組合せ論的立場から、最適符号の構成法を中心に研究を行った。

- (2) 量子ジャンプ符号について、研究開始当初、研究代表者らは、ドイツの研究グループの研究成果を発展させ、一部の量子ジャンプ符号についてその非存在を明らかにした。本研究では、さらにその組合せ構造、数理構造を明らかにし、数理的、組合せ論的立場から、その存在問題、構成法の研究を行うことを目的とした。
- (3) 球面デザインの拡張であるユークリッドデザインに注目し、与えられた点の数に対して、A-, D-, E-などの意味で最適な点配置を代数的・組合せ論的に見出すことを目的として研究を実施した。
- (4) グループテストの最適性について、本研究では、LDPC や ALOHA における復号アルゴリズムの下での 2 部グラフの各頂点における最適な次数分布がグループテストにおいても同様な結果が得られるか否かを、理論的に解析することを目標として研究を行った。

3. 研究の方法

本研究では、上記の目的のために、各テーマについて、それぞれの関連とそれらの組合せ構造に内在する共通の数理構造に注目しながら研究を推進してきた。研究の担当は、下記のとおりである。

- (1) 最適組合せ符号の構成法に関する研究 (担当：神保，三嶋)

本研究では CAC において、符号重みが 3, 4 の場合に、最大符号語数を持つという意味で最適な CAC の構成法を与えることを目的とした。符号重みが 3 の場合には符号長が偶数の場合には問題が解決しているため、奇数長の場合を考えた。また、研究代表者は、博士後期課程学生の盧暁南氏との共同研究で、光直交符号への応用を目的として affine-invariant スタイナー 4 重系(SQS)の直接構成法と逐次構成法の研究を行った。

- (2) 量子ジャンプ符号の最適性とその数理構造に関する研究(担当：神保，城本)

量子ジャンプ符号の数理構造を明らかにして、複素数体上の組合せ構造として定式化し、その存在問題、構成法などにチャレンジするという方法で研究を推進した。

- (3) 球面デザインの統計的最適性の研究(澤，神保)

このテーマは分担者澤が代表者神保と連携して研究を行った。分担者澤は、研究期間の最終年に神戸大学に異動したが、名古屋大学に定期的に出張して、愛知県立大の平尾氏などとの共同研究として研究を推進した。

- (4) グループテストの最適性の研究(神保，金森，栗木)

研究代表者と修士課程の学生が中心となり、必要に応じて分担者金森，栗木の支援を得る形で実施した。まず、グループテストに誤りがなく、実験結果が陰性/陽性の 2 値で与

えられる場合に、理論的に2部グラフの最適構造を見出し、最適さらに、実験結果に欠測値がある場合にも一部に計算機を用いてその結果を拡張した。

上記の各研究は、互いに関連しており、テレビ会議での議論、互いの訪問、研究集会などいろいろな形で情報交換と共同研究を行ってきた。また、本研究の遂行にあたって、V. D. Tonchev 教授(Michigan 工科大学), R. M. Wilson 教授(Caltech), H.-L. Fu 教授(国立交通大,台湾), T. Britz 教授(New South Wales 大)らとの情報交換は有益であった。さらに平成24年度には、台湾から10名程度の研究者を招へいして国際研究集会を開催した。また複数の国内研究集会も共催して研究情報交換を行った。

4. 研究成果

本研究の成果は下記のとおりである。

(1) 最適光直交符号, Conflict avoiding code の構成に関する研究: 符号の重みが3の場合に、これまでの研究で未解決であった奇数符号長について、円分多項式を用いて重みが3で奇数長の最適等差CACの構成法を与えた。この結果には、数論的手法が多く用いられており、国際誌 *Finite Fields and their applications* に掲載された。

さらに、重みが4の場合に、最適な等差CACの構成法と符号語数を明らかにした。重みが4の最適なCACの存在問題および構成法は、一部のケースを除いてその構成法を明らかにしたものであり、重み4のCACの構成法を一般の符号長について与えた。この結果、符号長 n を2の a 乗、3の b 乗とそれ以外の整数の積として表したとき、最大符号語数について、 a, b に関する漸化式を求めて、 a, b が小さい場合の最大符号語数を求める問題に帰着させることに成功した。さらに、 (a, b) が $(2, 1), (3, 1), (2, \text{奇数})$ などの場合に、任意の m について、符号語数の最大値を与えた。重み4のCACの構成法については、その構造が見通せるすべての場合について解決に至ったと思われ、計画以上に研究が進み、本研究成果はCACの分野の研究として、新たな方向性を与えた成果であると思われる。重み4の衝突回避符号(conflict-avoiding code, CAC)の構成法の結果は、著名な国際誌 *Designs, Codes, and Cryptology* に掲載が決定された。

さらに、CACの概念を一般化して、低衝突符号を導入し、重みが3で符号長が奇数の場合あるいは、重みが4で符号長が $n=2$ のべき乗と3のべき乗の積としてあらわされる場合について最大符号語数を求めた。この結果は、今後、論文として纏める予定である。

一方、光直交符号についても新たな成果を得た。通常、光直交符号では、巡回群を自己同型群として持つ符号の構成法の研究がなされてきたが、研究代表者たちは、より大き

な自己同型群を持つ符号の1つとして affine-invariant なスタイナー4重系(SQS)を用いる方法に注目し、その一般的構成法に関する研究を行った。この研究は研究代表者と大学院生の盧曉南氏との共同研究として実施してきた。構成法は有限体を用いた直接構成法と小さい位数の affine-invariant SQS からより大きい位数の affine-invariant SQS を構成する逐次構成法の2つに大別される。逐次構成法については、2通りの構成法を理論的に得た。また、直接構成法には有限体上の cross ratio と呼ばれる概念が有用であることを見出して、affine-invariant SQS の構成問題をある種のほぼ3正則なグラフの1因子の存在問題に帰着させることに成功した。さらに、計算機で位数が10万程度までその1因子の存在を確認した。この結果は現在、論文として纏めて国際誌に投稿中である。光直交符号に応用する場合に、記憶すべき符号語数が少ないという意味で、理論的にも実用上も意味があり、応用面でも有用である。

(2) 量子ジャンプ符号と複素数体上の組合せデザインに関する研究: 本研究では、研究開始当初、量子ジャンプ符号と呼ばれる組合せ構造について、量子減衰、量子ジャンプによる誤りを訂正するための組合せ構造を精査し、それをまとめてクロアチアでの国際会議で3時間の招待講演を行った。また、その講演内容は情報通信に関する英文の著書の1章としてIOS Pressから出版された。本研究では、先行研究で得られていた符号の次元に関する限界式がある種の符号長、符号重み、誤り訂正能力の場合に改良できることを示した。

また、量子ジャンプ符号と同値な組合せ構造として複素数体上の t -デザインの族(t -MOD, mutually orthogonal t -designs)を定義し、その存在・非存在問題、構成法などの研究を行った。 t -MODは古典的な t -デザインの族を複素数体上へ一般化した組合せ構造と見なすことができる。この概念は t -デザインの新たな研究テーマとして認知されつつある。

さらに、 1 -MODの構成に対角要素が不定元である quasi-difference matrix が関連していることを見出し、位数が2のべき乗の quasi-difference matrix を計算機を用いて求めた。また、最適な 1 -MODと完全グラフの1因子分解との関連を指摘し、完全グラフの1因子分解は頂点数 v が奇数の場合には存在しないが、複素数体上の 1 -MODに拡張すると $v=7$ の場合に存在することを示した。一方で、 $0, 1$ に値を制限した t -MOD(t -SEEDと呼ばれる)について、最適な t -SEEDは t -デザインの large set と同値であることを示し、論文として発表した。与えられたパラメータのもとでデザイン数最大の最適な t -MODの存在性に注目し、ある種のパラメータについては完備 t -MODが存在しないことも明らかにした。研究代表者は t -MODの研究の意義と応用およ

び数学的興味深さを California 工科大学、中国の浙江大学、蘇州大学などの研究集会、セミナーなどでアピールし、大きな反響を得ており、この概念は t-デザインの新たな研究テーマとして認知されつつある。さらに、t-SEED は t-secure な鍵分散暗号であることを初めて指摘した。

本テーマに関連して、アフィン幾何の分解に関する研究も行い、数論の手法を用いて、有限アフィン幾何の平面から成る 2-design をより合点数が小さい 2-design に分割できることを示した。本研究成果は、Finite fields and their application に掲載された。

(3) 球面デザインの統計的最適性の研究

本研究では、球面デザインあるいはユークリディアンデザインの統計的最適性に注目し、非積分多項式が 2 次以下のときに、2 つ以下の同心球面の場合に p-最適となる球面デザインの満たすべき点配置について新たな結果を得た。p-最適性は A-最適、D-最適、E-最適などを含むより一般的な最適性である。統計的実験計画の rotatable design の分野でこのような研究がなされてきたが、主に計算機を用いて、最適性あるいは有効性を議論している。また、Bannai, Bannai (2006) は、D-最適性についての結果を得ているが、D-最適性の場合には、最適配置は同心球面の半径の比に依存しないことが分かっている。我々は、A-、E-最適性にも注目して、半径比と最適配置の場合の各球面上の点の数、および最適点配置を明らかにした。本研究成果は、2012 年の ism-APRM をはじめとして様々な国際会議、国内学会、研究集会で発表し、国際的な統計誌 Sankhya に掲載された。

(5) グループテストの最適性

通常のグループテストにおいてのテスト結果が 0, 1 の 2 値で、テスト結果に誤りがない場合に、プーリングデザインを表わす 2 部グラフの各アイテムノードの次数が一定である場合が、ポジティブ識別確率の意味で最適であることを理論的に示した。さらにグループのテスト結果に欠損値がある場合についても目的関数の理論的近似式を与え、さらにシミュレーションを行って、アイテムノードの次数が一定であるのが最適であることを明らかにした。この結果は、構造が類似している LDPC 符号や ALOHA 通信における復号における最適性とは、異なる様相を示しており、今後、この結果を論文として纏めると共に、この差異を明らかにしてゆきたい。

また、以前、グループテストのアルゴリズムとして研究代表者が開発した belief propagation によるアルゴリズムを反応抑制アイテムが存在する場合に拡張し、その識別能力をシミュレーションにより検討し、その効率の良さを実証した。

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 26 件)

- [1] Yiling Lin, Miwako Mishima and Masakazu Jimbo, Optimal equi-difference conflict-avoiding codes of weight four, Designs, Codes and Cryptography, 印刷中, 2015, DOI: 10.1007/s10623-014-0030-x. 査読有
- [2] Masatake Hirao, Masanori Sawa, Masakazu Jimbo, Constructions of Φ_p -optimal rotatable designs on the ball. Sankhya - The Indian Journal of Statistics, Vol. 77, 211-236, 2015, 査読有
- [3] I. Mejza, S. Mejza, and S. Kuriki, Two-factor experiment with split units constructed by a BIBRC. SUT Journal of Mathematics, 印刷中, 2015, 査読有
- [4] M. Hirao, T. Okuda, M. Sawa. Some remarks on cubature formulas with linear operators. Journal of the Mathematical Society of Japan. 印刷中, 2015. 査読有
- [5] 澤 正憲. Cubature 公式の理論. 数学, Vol.67, 2015, 査読有.
- [6] Minjia Shi, Keisuke Shiromoto, Patrick Sole, A note on a basic exact sequence for the Lee and Euclidean weights of linear codes over \mathbb{Z}_l . Linear Algebra and its Applications, Vol. 475, 151-153, 2015, Doi: 10.1016/j.laa.2015.01.033, 査読有
- [7] T. Britz, T. Westerback and K. Shiromoto, Demi-matroids from codes over finite Frobenius rings, Designs, Codes and Cryptography, 75, 97-107, 2015. 査読有
- [8] Y. Lin, M. Jimbo, Extremal properties of t-SEEDs and recursive constructions, Des. Codes Crypto., Vol.73, 805-823, 2014. DOI: 10.1007/s10623-013-9829-0 査読有
- [9] Y. Lin, M. Mishima, J. Satoh, M. Jimbo, Optimal equi-difference conflict-avoiding codes of odd length and weight three, Finite Fields App., Vol. 26, 49-68(2014). DOI: 10.1016/j.ffa.2013.11.001. 査読有
- [10] S. Kuriki, I. Mejza, K. Ozawa, and S. Mejza, Control treatments in designs with split units generated by Latin squares. Biometrical Letters, 51, 125-142 (2014) 査読有, DOI:10.2478/bile-2014-0009
- [11] M. Tanaka, T. Sogabe, K. Shiromoto, and T. S. Usuda, Group covariance and formula of channel matrix of coded 4PSK signals by linear codes over \mathbb{F}_4 , 2014 International Symposium on Information Theory and Its Applications (ISITA2014), Melbourne, Australia, Proceedings of ISITA2014, p.348, (2014.10), 査読有
- [12] Masanori Sawa, Yuan Xu, On positive cubature rules on the simplex and isometric embeddings. Mathematics of Computation, Vol. 83, no.287, 1251-1277, 2014, 査読有.
- [13] Hiroshi Nozaki, Masanori Sawa,

Remarks on Hilbert identities, isometric embeddings, and invariant cubature. St. Petersburg Mathematical Journal, Vol. 25, 615-646, 2014, 査読有 .

[14] Y. Ishikawa, K. Shiromoto and T. S. Usuda, Formula for the channel matrix of a certain class of (G, χ) -covariant signals, Proceedings of the 13th Asian Quantum Information Science Conference (AQIS2013), Chennai, India, 2013 pp.209-210. 査読有

[15] H.Nozaki, M. Sawa, Note on cubature formulae and designs obtained from group orbits. Canadian Journal of Mathematics, Vol. 64, 1359-1377, 2012. Doi: 0.4153/CJM-2011-06, 査読有 .

[16] Koji Momihara, Miwako Mishima, Masakazu Jimbo, A decomposition of the 2-design formed by the planes in $AG(2n; 3)$. Finite Field and Their Applications, Vol.18, pp. 956-970, 2012. 査読有 .

[17] M. Sawa, M. Hirao, On minimal cubature formulae of odd degrees for circularly symmetric integrals. Advances in Geometry Vol.12 , 483-500, 2012. 査読有

[18] Ei.Bannai, Et.Bannai, M.Hirao, M. Sawa, On the existence of minimum cubature formulas for Gaussian measure on R^2 of degree t supported by $t/4 + 1$ concentric circles. Journal of Algebraic Combinatorics, Vol. 35, 109-119, 2012, 10.1007/s10801-011-0294-3, 査読有 .

[19] T. Kanamori, H. Uehara, M. Jimbo, Pooling design and bias correction in DNA library screening. Journal of Statistical Theory and Practice, Vol.6, pp. 220-238, 2012. 査読有

[20] N. Esmailzadeh, H. Talebi, K. Momihara, M. Jimbo, A new series of main effects plus one plan for $2m$ factorial experiments with $m=4\lambda+1$ and $2m$ runs.

J. Statistical Planning and Inference, Vol.141, pp. 1567-1574, 2011. 査読有

[21] M. Jimbo, Y. Kuniyama, R. Laue, M. Sawa, Unifying some known infinite families of combinatorial 3-designs.

Journal of Combinatorial Theory Series A, Vol.118, pp. 1072-1085, 2011. 査読有 .

[22] A. Munemasa, M. Sawa, Steiner quadruple systems with point-regular abelian automorphism groups. Journal of Statistical Theory and Practice Vol.6, 97-128, 2012. 査読有

[23] M. Jimbo, K. Shiromoto, Quantum jump codes and related combinatorial designs , Information Security, Coding Theory and Related Combinatorics, 285-311, IOS Press, 2011. 招待論文

[24] M. Sawa, M. Hirao, Y. Zhou, Some remarks on Euclidean tight designs.

Journal of Combinatorial Theory Series A, Vol. 118, 634-640, 2011. 査読有

[25] M. Sawa, Ei. Bannai, Etsu. Bannai, M. Hirao Cubature formulas in numerical analysis and Euclidean tight designs. European Journal of Combinatorics Vol.21 , 423-441 2010. 査読有

[26] M. Sawa, Optical orthogonal signature pattern codes with weight 4 and maximum collision parameter 2. IEEE Transactions on Information Theory Vol.56 , 3613-3620, 2010. 査読有

{ 学会発表 }(計 24 件)

[1] Masakazu Jimbo and Satoshi Noguchi, Cyclic codes with large minimum distances and related combinatorial designs, ALCOMA15, Kloster Banz, Germany, 2015.3.15-20.

[2] 野口聡, 神保雅一, 最小距離が大きい線形符号と組合せデザイン, 熊本組合せ論研究集会 代数的デザイン理論とその周辺 (平峰豊教授退官記念集会), 熊本大学, 2015.1.9-11.

[3] 盧曉南, 神保雅一, Unifying some graphs related to quadruple systems, 日本数学会年会, 明治大学, 2015.3.24.

[4] Keisuke Shiromoto, On the covering dimensions of a linear code and its relation to matroids. 38th Australasian Conference on Combinatorial Mathematics and Combinatorial Computing (38ACCMCC), Victoria University of Wellington, Wellington, New Zealand, 2014.12.02

[5] 盧曉南, 神保雅一, Affine-invariant strictly cyclic Steiner quadruple systems and related hypergraphs. 日本数学会秋季研究発表会統計数学, 広島大, 2014.9.25-28.

[6] 澤 正憲, Cubature 公式, Hilbert 恒等式, 最適実験計画 . 応用解析コロキウム . 京都大学 (情報学研究科). 2014 年 11 月 .

[7] 澤 正憲 . 測度空間上のデザイン理論の構築に向けて , I. 日本数学会秋季総合分科会統計数学分科会 . 広島大学 . 2014 年 9 月 .

[8] Masakazu Jimbo, Generalized 1-factorizations over C and quasi-difference matrices, The 3rd Taiwan-Japan conference on combinatorics and its applications, Chiayi University, Taiwan, 2014.3.21-23.

[9] Yiling Lin, Miwako Mishima, Masakazu Jimbo, Optimal equi-difference conflict-avoiding codes of weight four, The 3rd Taiwan-Japan Conference of Combinatorics and its Applications, National Chiayi University (台湾), 2014.3.22.

[10] M. Sawa, An analytic generalization of combinatorial designs and its applications in the theory of Banach spaces and Hilbert

identities. The 3rd Asia Pacific Rim Meeting, Taiwan, Jun. 2014.

[11] Y. Lin, M. Mishima, M. Jimbo, Equi-difference conflict-avoiding codes of length $n = 2a3bm$ and weight four, 44th Southeastern International Conference on Combinatorics, Graph Theory and Computing, Florida Atlantic Univ. 2013.3.

[12] 神保雅一, 量子ジャンプ符号とC上の直交t-デザイン, IMI 共同利用研究集会「モダン符号理論からポストモダン符号理論への展望」, 九州大学, 2013.3.4-7. 招待講演.

[13] 林怡伶, 神保雅一, A t-spontaneous emission error design and its application to secret sharing scheme. 日本応用数理学会 2013 年度年会, 福岡, 2013.9.11.

[14] 林怡伶, 三嶋美和子, 佐藤潤也, 神保雅二, Optimal equi-difference conflict-avoiding codes of odd length with weight three. 日本数学会秋季総合分科会統計数学, 愛媛大, 2013.9.24.

[15] 林怡伶, 三嶋美和子, 神保雅一, Optimal equi-difference conflict-avoiding codes of length $n=2a3bm$ and weight four. 日本数学会秋季総合分科会, 愛媛大, 2013.3.22.

[16] 平尾正剛, 澤正憲, 神保雅二, n 次元球上の最適計画の構成について, 日本数学会秋季総合分科会, 愛媛大, 2013.9.27.

[17] Y. Lin, M. Mishima, J. Sato, M. Jimbo, Tight Equi-difference conflict-avoiding codes of odd length and weight three, The 2nd Japan-Taiwan Conference on Combinatorics and its Applications, Nagoya Univ., 2012.11.

[18] K. Ishii, M. Jimbo, Group testing on an inhibitor model and an effective positive detecting algorithm, The 2nd Japan-Taiwan Conference on Combinatorics and its Applications, Poster Presentation, Nagoya Univ. 2012.11.

[19] M. Jimbo, K. Shiromoto, Y. Lin, Mutually orthogonal t-designs over C related to quantum jump codes, 2012 Shanghai Conference on Algebraic Combinatorics, Shanghai Jiao Tong Univ. 2012.8.17-22.

[20] M. Hirao, M. Jimbo, M. Sawa, Optimality of designs and configurations of points on the sphere. The 2nd Institute of Mathematical Statistics Asia Pacific Rim Meeting, Tsukuba, 2012.7.2-4.

[21] M. Jimbo, Mutually orthogonal t-designs over C related to quantum jump codes, Wilsonfest - a conference in honor of Rick Wilson, Oral Presentation, Caltech, USA, 2012.3.25-29.

[22] M. Jimbo, M. Mishima, K. Momihara, Decompositions of the 2-design formed by the set of planes of $AG(2n, q)$. for $q = 2, 3$, The 10th International Conference on

Finite Fields and their Applications, Oral Presentation, Ghent, Belgium, 2011.

[23] M. Jimbo, K. Shiromoto, Quantum jump codes and related combinatorial designs, The 1st Taiwan-Japan Conference of Combinatorics and its applications, Oral Presentation, Tamkang University, Tansui, Taiwan, 2011.3.

[24] M. Jimbo, Quantum jump codes and related combinatorial designs, Information Security, Coding Theory and Related Combinatorics, Opatia, Croatia, 2010.6.

〔図書〕(計 2 件)

[1] Sanpei Kageyama and Masakazu Jimbo 編, Combinatorial Configurations and Information Sciences, Taylor and Francis, 2012.

[2] 神保雅一 編著, 『暗号とセキュリティ』, オーム社, 2010. 担当: 編集と序章の執筆, 共著者: 神保, 城本, 三嶋含む 8 名

〔産業財産権〕

出願状況(計 0 件)

取得状況(計 0 件)

〔その他〕なし

6. 研究組織

(1) 研究代表者

神保 雅一 (Masakazu JIMBO)

名古屋大学・大学院情報科学研究科・教授
研究者番号: 50103049

(2) 研究分担者

栗木 進二 (KURIKI SHINJI)

大阪府立大学・工学研究科・教授
研究者番号: 00167389
H24-26 年度

三嶋美和子 (MISHIMA MIWAKO)

岐阜大学・工学部・准教授
研究者番号: 00283284

金森 敬文 (KANAMORI TAKAFUMI)

名古屋大学・情報科学研究科・准教授
研究者番号: 60334546

城本啓介 (Keisuke SHIROMOTO)

熊本大学・自然科学研究科・教授
研究者番号: 00343666

澤 正憲 (Masanori SAWA)

神戸大学・大学院システム情報学研究科・准教授
研究者番号: 50508182