


代数的符号理論・組合せデザイン理論とアソシエーション・スキームの研究

著者	宗政 昭弘
URL	http://hdl.handle.net/10097/41508



代数的符号理論、組合せデザイン理論と アソシエーション・スキームの研究

(課題番号 12440030)

平成12年度～平成15年度科学研究費補助金 (基盤研究(B)(2))
研究成果報告書

平成16年3月

研究代表者：宗 政 昭 弘

(東北大学大学院情報科学研究科教授)

代数的符号理論、組合せデザイン理論と アソシエーション・スキームの研究

(課題番号 12440030)

平成12年度～平成15年度科学研究費補助金 (基盤研究(B)(2))
研究成果報告書

平成16年3月

研究代表者：宗 政 昭 弘

(東北大学大学院情報科学研究科教授)

は し が き

この報告書は、文部科学省科学研究費補助金（基盤研究(B)(2)）の交付を受けて、平成12年度から平成15年度の4年間に実施された研究「代数的符号理論、組合せデザイン理論とアソシエーション・スキームの研究」に関するものである。

本研究では、研究代表者・宗政を中心に、符号理論とデザイン理論のかかわる組合せ論について、アソシエーション・スキームの立場から研究を進めた。各研究分担者には、それぞれの専門分野からの情報提供と共に、様々な領域において共同研究を進め、必要に応じて研究協力者からの協力も得た。研究費の多くの部分は、初年度には備品としてコンピュータを購入した他、研究連絡・成果発表のための国内・外国旅費に使った。また、最新の研究成果を議論するために、外国からの専門家を招へいするための旅費にも使った。

以上のような4年間の研究の結果、いくつかの研究成果は国内の研究集会、国内外における国際会議で口頭発表し、また学術論文に掲載されることになった。特に、自己双対符号と組合せデザインの研究を出発点としながらも、球面上の配置と整数格子、さらには保型形式環の理論まで研究対象を広げて研究成果が生まれたということは、当初の計画以上の成果であった。

本研究を3年間実施した後、研究代表者が九州大学から東北大学に異動したため、研究分担者組織の見直しをしなければならなくなったが、当初の3年間の蓄積があり、また研究打ち合わせに十分な旅費があったことで、4年目もほぼ予定していた通り研究を進めることができた。

本研究は、分担者のみならず、時には研究協力者や大学院生の協力の上で成り立っていた。この場を借りて感謝の意を表したい。

研究組織

研究代表者：宗 政 昭 弘（東北大学大学院情報科学研究科教授）
研究分担者：坂 内 英 一（九州大学大学院数理学研究院教授）
研究分担者：坂 内 悦 子（九州大学大学院数理学研究院助教授）
研究分担者：原 田 昌 晃（山形大学理学部助教授）
研究分担者：平 木 彰（大阪教育大学教育学部助教授）
研究分担者：浦 川 肇（東北大学大学院情報科学研究科教授）
研究分担者：今 井 秀 雄（東北大学大学院情報科学研究科助教授）
研究分担者：田 谷 久 雄（東北大学大学院情報科学研究科助手）

（研究分担者の浦川、今井、田谷は平成15年度のみ）

交付決定額（配分額）

（金額単位：千円）

	直接経費	間接経費	合 計
平成12年度	1,500	0	1,500
平成13年度	1,200	0	1,200
平成14年度	1,500	0	1,500
平成15年度	1,900	0	1,900
総計	6,100	0	6,100

研究発表

(ア) 学会誌等

(+ は共著者による重複分)

宗政 昭弘 (Akihiro MUNEMASA)

1. (with M. Harada) Classification of Type IV self-dual \mathbf{Z}_4 -codes of length 16, *Finite Fields and Their Applications*, **6** (2000), 244–254.
2. (with E. Bannai, M. Koike, J. Sekiguchi) Some results on modular forms, *Advanced Studies in Pure Mathematics*, **32** (2001), 245–254.
3. (with K. Betsumiya, T. A. Gulliver, M. Harada) On Type II codes over \mathbb{F}_4 , *IEEE Transaction on Information Theory*, **47** (2001), 2242–2248.
4. (with K. Betsumiya, M. Harada) Type II codes over \mathbb{F}_{2^r} , in “*Applied Algebra, Algebraic Algorithms and Error Correcting Codes*,” *Springer Lecture Notes in Computer Science*, **2227** (2001), 102–111.
5. (with D. P. Brozovic, C. Y. Ho) A correction to “Incidence matrices and finite cyclic projective planes” by Chat Yin Ho, *Designs, Codes and Cryptography*, **25** (2002), 91–93.
6. A mass formula for Type II codes over finite fields of characteristic two, in “*Codes and Designs*,” K. T. Arasu and A. Seress, eds., (2002), 207–214.
7. (with M. Harada) A quasi-symmetric 2-(49, 9, 6) design, *Journal of Combinatorial Designs*, **10** (2002), 173–179.
8. (with M. Kitazume) Even unimodular Gaussian lattices of rank 12, *Journal of Number Theory*, **95** (2002), 77–94.
9. (with C. D. Godsil, A. Chan) Four-weight spin models and Jones pairs, *Transactions of the American Mathematical Society*, **355** (2003), 2305–2325.
10. (with D. B. Dalan, M. Harada) On Hadamard matrices of order $2(p+1)$ with an automorphism of odd prime order p , *Journal of Combinatorial Designs*, **11** (2003), 367–380.
11. (with E. Bannai, M. Harada, T. Ibukiyama, M. Oura) Type II codes over $\mathbb{F}_2 + u\mathbb{F}_2$ and applications to Hermitian modular forms, *Abhandlungen Mathematischen Seminar der Universität Hamburg*, **73** (2003), 13–42.
12. (with M. Klin, M. Muzychuk, P.-H. Zieschang) Directed strongly regular graphs via coherent algebras, *Linear Algebra and Applications*, **377** (2004), 83–109.
13. Spherical 5-designs obtained from finite unitary groups, *European Journal of Combinatorics*, **25** (2004), 261–267.

14. (with M. Harada, K. Tanabe) Extremal self-dual $[40, 20, 8]$ codes with covering radius 7, *Finite Fields and Their Applications*, to appear.

坂内 英一 (Eiichi BANNAI)

- 2⁺ (with M. Koike, A. Munemasa, J. Sekiguchi) Some results on modular forms, *Advanced Studies in Pure Mathematics*, **32** (2001), 245–254.
15. (with O. Shimabukuro, M. Tagami) Modular invariants of the modular data of finite groups, *Matimyas Matematika*, **25** (2002), 12–24.
16. (with H. Tanaka) The decomposition of the permutation character $1_{GL(n, q^2)}^{GL(2n, q)}$, *Journal of Algebra*, **265** (2003), 496–512.
- 11⁺ (with M. Harada, T. Ibukiyama, A. Munemasa, M. Oura) Type II codes over $\mathbb{F}_2 + u\mathbb{F}_2$ and applications to Hermitian modular forms, *Abhandlungen Mathematischen Seminar der Universität Hamburg*, **73** (2003), 13–42.
17. (with O. Shimabukuro, H. Tanaka) Finite analogues of non-Euclidean graphs and Ramanujan graphs *European Journal of Combinatorics*, **25** (2004), 243–259.
18. (with C. Bachoc, R. Coulangeon) Codes and designs in Grassmannian spaces, *Discrete Mathematics*, to appear.
19. (with O. Shimabukuro, H. Tanaka) Finite Euclidean graphs and Ramanujan graphs, *Discrete Mathematics*, to appear.

坂内 悦子 (Etsuko BANNAI)

20. (with M. Sawano) The classification of certain four-weight spin models, *Annals of Combinatorics*, **4** (2000), 139–151.
21. Bose–Mesner algebras associated with four-weight spin models, *Graphs and Combinatorics*, **17** (2001), 589–598.
22. (with M. Sawano) Symmetric designs attached to four-weight spin models, *Designs, Codes and Cryptography*, **25** (2002), 73–90.
23. (with K. Kawasaki, Y. Nitamizu, T. Sato) An upper bound for the cardinality of an s -distance set in Euclidean space, *Combinatorica*, to appear.

原田 昌晃 (Masaaki HARADA)

24. On the existence of extremal Type II codes over \mathbb{Z}_6 , *Discrete Mathematics* **223** (2000), 373–378.
25. (with C. Bachoc, T. A. Gulliver) Isodual codes over \mathbb{Z}_{2k} and isodual lattices, *Journal of Algebraic Combinatorics*, **12** (2000), 223–240.

26. (with T. A. Gulliver) *Double circulant self-dual codes over $GF(5)$* , *Ars Combinatoria*, **56** (2000), 3–13.
27. (with S. T. Dougherty, P. Solé) Shadow lattices and shadow codes, *Discrete Mathematics* **219** (2000), 49–64.
- 1⁺ (with A. Munemasa) Classification of Type IV self-dual \mathbf{Z}_4 -codes of length 16, *Finite Fields and Their Applications*, **6** (2000), 244–254.
28. An extremal ternary self-dual $[28, 14, 9]$ code with a trivial automorphism group, *Discrete Mathematics*, **239** (2001), 121–125.
29. (with T. A. Gulliver) Optimal double circulant \mathbf{Z}_4 -codes, *Lecture Notes in Computer Science*, **2227** (2001), 122–128.
- 3⁺ (with K. Betsumiya, T. A. Gulliver, A. Munemasa) On Type II codes over \mathbb{F}_4 , *IEEE Transaction on Information Theory*, **47** (2001), 2242–2248.
- 4⁺ (with K. Betsumiya, A. Munemasa) Type II codes over \mathbb{F}_{2^r} , in “*Applied Algebra, Algebraic Algorithms and Error Correcting Codes*,” *Springer Lecture Notes in Computer Science*, **2227** (2001), 102–111.
- 7⁺ (with A. Munemasa) A quasi-symmetric 2 - $(49, 9, 6)$ design, *Journal of Combinatorial Designs*, **10** (2002), 173–179.
30. (with P. R. J. Östergård) Self-dual and maximal self-orthogonal codes over \mathbb{F}_7 , *Discrete Mathematics*, **256** (2002), 471–477.
31. (with M. Kitazume) \mathbf{Z}_6 -code constructions of the Leech lattice and the Niemeier lattices, *European Journal of Combinatorics*, **23** (2002), 573–581.
- 10⁺ (with D. B. Dalan, A. Munemasa) On Hadamard matrices of order $2(p + 1)$ with an automorphism of odd prime order p , *Journal of Combinatorial Designs*, **11** (2003), 367–380.
32. (with R. Dontcheva) Some extremal self-dual codes with an automorphism of order 7, *Applicable Algebra in Engineering, Communication and Computing*, **14** (2003), 75–79.
33. (with P. R. J. Östergård) On the classification of self-dual codes over \mathbb{F}_5 , *Graphs and Combinatorics*, **19** (2003), 203–214.
34. (with R. Dontcheva) Extremal doubly-even $[80, 40, 16]$ codes with an automorphism of order 19, *Finite Fields and Their Applications*, **9** (2003), 157–167.
35. (with K. Betsumiya, T. A. Gulliver) Extremal self-dual codes over $\mathbb{F}_2 \times \mathbb{F}_2$, *Designs, Codes and Cryptography*, **28** (2003), 171–186.
- 11⁺ (with E. Bannai, T. Ibukiyama, A. Munemasa, M. Oura) Type II codes over $\mathbb{F}_2 + u\mathbb{F}_2$ and applications to Hermitian modular forms, *Abhandlungen Mathematischen Seminar der Universität Hamburg*, **73** (2003), 13–42.

36. (with M. Araya, H. Kharaghani) Some Hadamard matrices of order 32 and their binary codes, *Journal of Combinatorial Designs*, **12** (2004), 142–146.
- 14⁺ (with A. Munemasa, K. Tanabe) Extremal self-dual $[40, 20, 8]$ codes with covering radius 7, *Finite Fields and Their Applications*, to appear.

平木 彰 (Akira HIRAKI)

37. Geodetically closed subgraphs in a distance-regular graph, *Kyushu Journal of Mathematics*, **54** (2000), 155–164.
38. Retracing argument for distance-regular graphs, *Journal of Combinatorial Theory, Series B*, **79** (2000), 211–220.
39. (with K. Nomura and H. Suzuki) Distance-regular graphs of valency 6 and $a_1 = 1$, *Journal of Algebraic Combinatorics*, **11** (2000), 101–134.
40. A distance-regular graph with strongly closed subgraphs, *Journal of Algebraic Combinatorics*, **14** (2001), 127–131.
41. (with J. Koolen) An improvement of the Godsil bound, *Annals of Combinatorics*, **6** (2002), 33–44.

(イ) 口頭発表

宗政 昭弘 (Akihiro MUNEMASA)

1. 自己双対符号の mass formula の一般化, 日本数学会代数分科会特別講演, 京都大学 2000 年 9 月.
2. Distance-regular graphs related to the binary Golay code and their spherical representation, 「日仏組合せ論ワークショップ」, 蔵王エコーホテル, 2000 年 10 月.
3. On the enumeration of self-dual codes, 「Algebraic Geometry, Number Theory, Coding Theory and Cryptography」, 東京大学, 2000 年 11 月.
4. Spherical 5-designs obtained from the unitary group $U_{2m}(2)$, 「符号・格子・頂点作用素代数と有限群」研究集会, 京大数理研, 2001 年 2 月.
5. The biweight enumerators of doubly-even self-dual binary codes and the root system E_8 , 「Expert Workshop on Coding Theory」, Ateneo de Manila University, 2001 年 2 月.
6. The association scheme of injections, 「有限群論サマーセミナー」, 草津セミナーハウス, 2001 年 7 月.
7. Type II codes over \mathbb{F}_{2^r} , 「14th Applied Algebra, Algebraic Algorithms and Error Correcting Codes」, RMIT University, Melbourne, Australia, 2001 年 11 月.
8. Codes, invariant polynomials and modular forms, 「保型形式スプリングコンファレンス」, 浜名湖カリアック, 2002 年 2 月.
9. Nonexistence of tight spherical designs, 「第 19 回代数的組合せ論シンポジウム」, 熊本大学, 2002 年 7 月.
10. The nonexistence of some tight spherical designs, 「Geometric and Algebraic Combinatorics 2」, Oisterwijk, The Netherlands, 2002 年 8 月.
11. MacWilliams identities, Delsarte inequalities and Terwilliger algebras, 京都大学数理解析研究所短期共同研究「Designs, Codes, Graphs and Their Links」, 2002 年 9 月.
12. Extremal self-dual $[40, 20, 8]$ codes with covering radius 7, 「Arithmetic and Combinatorics」, Luminy, France, 2002 年 9 月.
13. Non-antipodal spherical 5-designs constructed by finite unitary groups, 「Workshop on Spherical Designs」, Univ. Geneva, Switzerland, 2002 年 10 月.
14. Mass formula for the Jacobi weight enumerator polynomials of binary self-dual codes, 「組合せ論的数論と代数的組合せ論」研究集会, 山形大学, 2002 年 11 月.
15. Nonexistence of Tight Spherical Designs, 「Statistics, Combinatorics and Geometry」, 統計数理研究所, 2003 年 3 月.

16. Extremal configurations in dimension 48, 「The Second East Asian Conference on Algebra and Combinatorics」, 九州大学国際研究交流プラザ, 2003年11月.
17. On additive Steiner quadruple systems, 「International Workshop on Combinatorics」, 慶応大学, 2004年1月.

坂内 英一 (Eiichi BANNAI)

18. Modular invariants of modular data of finite groups, 「符号・格子・頂点作用素代数と有限群」, 研究集会, 京大数理研, 2001年2月.
19. Finite upper half plane and notion of modular forms, 「保型形式スプリングコンファレンス」, 浜名湖キャリアック, 2002年2月.
20. Character tables of certain association schemes and Ramanujan graphs, 「第19回代数的組合せ論シンポジウム」, 熊本大学, 2002年7月.
21. Character tables of some association schemes and Ramanujan graphs, 「Geometric and Algebraic Combinatorics 2」, Oisterwijk, The Netherlands, 2002年8月.
22. On some Gelfand pairs and association schemes, 「Arithmetic and Combinatorics」, Luminy, France, 2002年9月.
23. On some Gelfand pairs and commutative association schemes, 「組合せ論的数論と代数的組合せ論」研究集会, 山形大学, 2002年11月.
24. On Euclidean tight 4-designs, 「Statistics, Combinatorics and Geometry」, 統計数理研究所, 2003年3月.
25. ユークリッド空間における種々のデザインの概念と tight デザインの分類, 「第20回代数的組合せ論シンポジウム」, 北海道大学, 2003年7月.

坂内 悦子 (Etsuko BANNAI)

26. ユークリッド空間上の antipodal な s -距離集合, 「第18回代数的組合せ論シンポジウム」, 千葉大学, 2001年7月.
27. On tight Euclidean designs, 「代数的組合せ論」研究集会, 京大数理研, 2002年12月.
28. ユークリッド空間の tight 4-デザインについて, 第5回「代数学と計算」研究集会, 2003年9月, 東京都立大学.

原田 昌晃 (Masaaki HARADA)

29. Z_{22} -Code construction of the Leech lattice, 「Codes, Lattices, Modular Forms and Vertex Operator Algebras」, 山形大学, 2000年10月.
30. Type II codes over Z_{2k} and the Leech lattice, 「符号・格子・頂点作用素代数と有限群」研究集会, 京大数理研, 2001年2月.

31. Quasi-symmetric 2-(49, 9, 6) designs, 「Designs, Codes, Graphs and Their Links II」研究集会, 京大数理研, 2001 年 7 月.
32. On frames of the Niemeier lattices, 「第 18 回代数的組合せ論シンポジウム」, 千葉大学, 2001 年 7 月.
33. Leech lattice の Z_6 -code construction, 「有限群論サマーセミナー」, 草津セミナーハウス, 2001 年 7 月.
34. Ternary code construction of extremal unimodular lattices, 「代数的組合せ論」研究集会, 京大数理研, 2001 年 12 月.
35. Extremal self-dual codes and extremal unimodular lattices, 「Statistics, Combinatorics and Geometry」, 統計数理研究所, 2003 年 3 月.
36. Self-dual codes and neighbors 「Designs, Codes, Graphs and Their Links IV」研究集会, 京大数理研, 2003 年 7 月.
37. Self-orthogonal designs related to extremal doubly-even self-dual codes, 「International Workshop on Combinatorics」, 慶応大学, 2004 年 1 月.

平木 彰 (Akira HIRAKI)

38. The number of columns $(1, k - 2, 1)$ in the intersection array of distance-regular graphs, 「代数的組合せ論」研究集会, 京大数理研, 2001 年 12 月.

田谷 久雄 (Hisao TAYA)

39. 岩澤による p -進 L -函数の構成の応用 (II) —Ferrero–Washington の定理, 「整数論サマースクール」, 2003 年 8 月.

研究成果

本研究の始まりは、ある種のアソシエーション・スキームにおけるコードの分類を、主に置換群論の技術と計算機を利用して行うことであった。コードの分類を行う時、重要な役割を果たすのがそのようなコード全体の作る集合の性質であり、このような研究を通して重偶と呼ばれる自己双対符号全体の集合がアソシエーション・スキームの構造をもつことを見出した。これらの研究には、代数学のために開発された特殊なソフトウェアを用いて計算機実験をして、一般的な予想を立てるために役立てた。また、モジュラー群の部分群に関する研究を始めることができたのもこのようなソフトウェアによるところが大きく、初年度の配分額で購入した計算機が大いに役立った。このようにして得られた研究成果は、Type IV self-dual codes over \mathbf{Z}_4 の分類 [1], Type II codes over $\mathbb{F}_2 + u\mathbb{F}_2$ の分類と対応する Hermitian modular form の決定 [11]=[C], および保型形式環が多項式環と同型に成るようなモジュラー群の部分群の分類 [2] である。

一方、コード全体の作る集合の性質を記述する、mass formula と呼ばれる公式があり、自己双対な 2 元符号のうち、Type II と呼ばれる自己双対符号の mass formula は古くから知られている。この概念を標数 2 の任意の有限体上の符号に拡張し、その mass formula を導く ([6]) とともに、標数 2 の有限体上の Type II 符号のうち、2 元符号としての長さが 32 以下となる場合のほとんどについて、分類を完成させた ([3])。この成果は、オーストラリアのメルボルンで開催された第 14 回 AAEC シンポジウムにおいて発表した ([4])。

また、符号理論における様々な問題への計算機を使つてのアプローチのノウハウが蓄積されつつあり、符号理論の研究動向や懸案となっている問題を探るために、多くの研究集会に参加したり新しく出版された図書を購入するなどして情報収集に努めた。また、部分的に得られている研究成果は学会などで口頭発表し、参加者と意見交換しながら今後の研究の方向を探った。特に、平成 12 年の 10 月には、ドイツとイギリスから本研究課題の遂行に極めて重要と思われる R. Scharlau と R. Chapman の 2 人の研究者を招へいし、現在進行中の研究について深く議論した。格子の研究については、ガウスの整数上のユニモジュラーな格子の分類を 24 次元まで完成させることができた ([8])。

2 元自己双対符号についても、長さ 40 の場合に、extremal でかつ被覆半径が 7 となるようなものを発見した。このような符号がデザイン理論的に特異な性質を持つことを発見し、これを定式化して一般の長さについて成立する定理を得た。また、長さ 40 の例は、長さ 24 の Golay 符号と密接に関係していることがわかった。これらの結果は、フランスで開催された国際会議において発表した ([14]=[G])。代数学のために開発された特殊なソフトウェアを用いて計算することがこのような発見につながったわけだが、同時にこれらの計算機実験を積み重ねることでプログラムの効率化が徐々に進み、より大きな問題に取り組めるようになった。このプログラムは本来長さ 32 の自己双対 2 元符号の分類のために開発したものであるが、これを応用して新しい quasi-symmetric 2-(49, 9, 6) design を発見した ([7]=[E])。符号理論においては、このような実験的な結果だけでなく、より理論的な研究を代数学を用いて進めるために、Terwilliger の理論を用いるための指針を示した [B]。

平成 14 年度からは、球デザインについても研究を行った。特に、2 元体上のユニタリー群の作用から、球面上の 5-デザインが構成できることを、アソシエーション・スキームの理論を用いて証明した ([13]=[D])。また、長い間懸案だった、タイトな球デザインの存在問題について、本格的に取り組んだ。始めは計算機を用いて、未解決であった最小次元である 47 次元の場合に構成を試みたが、失敗に終わったため、整数格子とモジュラー形式の理論を用いて非存在を示すことができた。この結果は直ちに一般化され、まず

熊本大学での研究集会で発表し ([A])、続いてオランダで開催された国際会議において発表した。オランダでの国際会議では、かねてからの懸案だった論文 [12]=[F] の最終的な詰めが、全共著者が集まって行われ、平成 15 年度末にようやく出版されることになった。

上記のフランスにおける会議に引き続き、スイスで球デザインに関する国際会議が開かれ、そこで 2 元体上のユニタリー群の作用から、構成される球面上の 5-デザインについての研究成果 [13]=[D] について発表した。この国際会議においては、ユークリッド空間におけるデザインについても、他の参加者と共同研究を行った。

また、自己双対符号は、自然に格子に対応することで保型形式を定義する。その mass formula の意味するところはまだほとんど研究がされておらず、今年からその研究に取り組んだ。保型形式については特に専門家との交流がこれまでなかったため、2 つの研究集会に参加して情報交換に努めた結果、新たな研究の可能性が広がった。

以上のような成果から、本報告書では以下の 8 篇の論文を綴るものとする。

- (A) **A. Munemasa**, Nonexistence of tight spherical designs, 第 19 回代数的組合せ論シンポジウム報告集, 熊本大学, 2002 年 7 月.
- (B) **A. Munemasa**, MacWilliams identities, Delsarte inequalities and Terwilliger algebras, 京都大学数理解析研究所短期共同研究「Designs, Codes, Graphs and Their Links」, 2002 年 9 月.
- (C) **E. Bannai, M. Harada, T. Ibukiyama, A. Munemasa and M. Oura**, Type II codes over $\mathbb{F}_2 + u\mathbb{F}_2$ and applications to Hermitian modular forms, *Abhandlungen Mathematischen Seminar der Universität Hamburg*, **73** (2003), 13–42.
- (D) **A. Munemasa**, Spherical 5-designs obtained from finite unitary groups, *European Journal of Combinatorics*, **25** (2004), 261–267.
- (E) **M. Harada and A. Munemasa**, A quasi-symmetric 2-(49, 9, 6) design, *Journal of Combinatorial Designs*, **10** (2002), 173–179.
- (F) **M. Klin, A. Munemasa, M. Muzychuk, P.-H. Zieschang**, Directed strongly regular graphs via coherent algebras, *Linear Algebra and Applications*, **377** (2004), 83–109.
- (G) **M. Harada, A. Munemasa, K. Tanabe**, Extremal self-dual [40, 20, 8] codes with covering radius 7, *Finite Fields and Their Applications*, to appear.

本報告書収録の学術雑誌等発表論文は本ファイルに登録しておりません。なお、このうち東北大学在籍の研究者の論文で、かつ、出版社等から著作権の許諾が得られた論文は、個別に **TOUR** に登録しております。