

石政 勉

学歴

1975 年 3 月	大阪大学基礎工学部物性物理工学科卒業
1977 年 3 月	広島大学大学院理学研究科物性学専攻博士課程前期修了
1980 年 3 月	広島大学大学院理学研究科物性学専攻博士課程後期単位取得退学
1981 年 4 月	理学博士 (広島大学)

職歴

1980 年 4 月	名古屋大学助手 教養部
1984 年 6 月～1986 年 3 月	スイス連邦工科大学(ETH-Zürich) 科学共同研究員
1986 年 10 月	名古屋大学講師 教養部
1989 年 10 月	同助教授
1993 年 10 月	名古屋大学助教授 工学部
1995 年 10 月～1996 年 1 月	グルノーブル工科大学(INP Grenoble) 文部省在外研究員
2000 年 4 月	北海道大学大学院教授 工学研究科 (2010 年から工学研究院に名称変更)
2015 年 4 月	同特任教授 (北海道大学名誉教授)
2017 年 4 月 1 日	公益財団法人 豊田理化学研究所 フェロー

個人情報

石政 勉

所属学会 日本物理学会、日本金属学会、日本顕微鏡学会

非常勤講師

名古屋大学 (2000, 2012)

東京工業大学 (2001)

島根大学 (2003)

客員教授

名古屋大学 (2013)

主な役職・委員等の経歴

- ・日本物理学会 領域代表 (領域 6)
- ・準結晶国際会議 Member of International Advisory Board
- ・日本顕微鏡学会 理事 (北海道支部長)

2010 年

第 11 回準結晶国際会議 : ICQ11 conference co-chair

2012 年

日本顕微鏡学会第 56 回シンポジウム実行委員長

その他

1986 年 Latsis Preis der ETH-Zürich

これまでの主な研究成果

石政 勉

1. はじめに

人類の歴史は、しばしば、石器時代、青銅器時代、鉄器時代、シリコン時代と分類される。ここでの主役は固体、それもほとんどの場合、結晶である。筆者が研究してきた準結晶は、1984年に初めて認識された固体の新状態であり、構造の特異性から新規機能材料としての可能性が期待されてきた。筆者は発見直後から現在にいたるまで、構造に主眼をおいて準結晶を研究し、準結晶という「新概念の確立」に寄与して来た。

よく知られているように、結晶は原子が周期的に並ぶ事によってできている。この周期性がバンド構造に反映され、それぞれの物質の性質の基本となる。他方、準結晶においては、原子は「規則的ではあるが周期的ではない」という不思議な規則を満たして配置している。結晶の持つ周期性が

「等差数列的」であるのに対して、準結晶の規則性は、理想状態において「等比数列的」である。この特別な規則性を準周期性と呼んでいる。

特に、準周期的なポテンシャルにおいて電子がどのように振舞うか?は、興味ある重要な問題である。1次元や2次元系の理論計算から、結晶のように広がった波動関数でもなく、アモルファスのような局在した波動関数でもない臨界的な状態が現れるものと考えられた。そこで、準結晶に固有の電子物性が期待され、長期にわたって探索されてきたが見つからなかつた。近年、3.に述べる量子臨界現象が筆者を含む研究チームによって発見された。これは、初めての「準結晶に固有な現象」ではないかと注目されている。

さらに、回転対称性についても準結晶は結晶とは異なる。結晶では、回転対称性は周期性と両立できるものに限られている。しかし、準結晶の場合には、結晶では許されない10回、12回や正20面体対称性などの「高い対称性」が逆空間で可能となる(図1参照)。高い対称性は、(擬)ブリルアンゾーンの形状を通して電子構造に反映し、物性や相安定性に影響を与えると考えられる。

以上のような観点で実験研究を進めようとする時、「現実の物質において、どのくらい理想に近い準周期性が実現できるのか?」という事が問題となる。この問題意識を持って、以下に述べる「一連の準結晶についての研究」と「新しい正12角形準結晶」の研究を行なった。

以下では、2000年以降の研究成果を中心にまとめる。

2. 一連のZn基、Cu基、Au基準結晶の発見と形成条件の認識

2000年にA.P.Tsaiらによって、安定準結晶Cd-Yb(Tsai型と呼ばれる)が発見された。それをヒントとして新合金の探索を行った結果、新たにZn-M-Sc(M=Mg, Mn, Fe, Co, Ni, Pd, Ag, Pt, Au)合金、Cu-Al-ScおよびCu-Ga-Mg-Sc合金、Au-Al-R(R=Tm, Yb)合金など、一連の同形構造の正20面体準結晶を発見した(図2)。なかでもZn-Mg-Sc合金の構造完全性は極めて高く、放射光を使って測定した回折ピークは結晶とほぼ同等の鋭さを持っていた。この事実は、現実の物質において、準周期性が周期性と同程度の完全さをもって実現

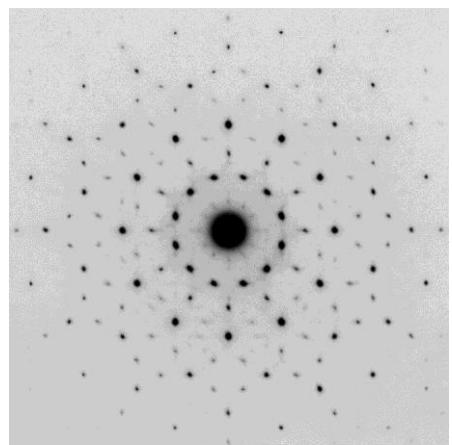


図1 12回対称を示す電子回折図形
Mn基合金の場合

することを示している。(ただし、どの準結晶合金でもと言うわけではない。)

また、一連の準結晶の存在は、これらの準結晶が元素置換可能な「合金としての多様性」を持っていることを示しており、そこからこのグループに属する準結晶形成のための必要条件が明らかとなった。それは、原子サイズについての条件と価電子濃度 e/a についての条件であり、結晶合金において Hume-Rothery 則として知られてきたものに対応する。価電子濃度 e/a についての条件は、高対称性から期待される「球対称に近い形状」の(擬)ブリルアンズーンとフェルミ面との相互作用から生じる擬ギャップの形成によって説明される。このように、形成に関する必要条件(大雑把な経験則)が明らかになったことから、元素置換による物性制御、あるいは物質設計がある程度可能になった。次に述べる3.の結果は、この応用例である。

一方、これらの合金においては、準結晶と類似の組成を持つ「近似結晶」が形成することが多い(例えば、 $\text{Au}_{51}\text{Al}_{34}\text{Yb}_{15}$ 準結晶に対して $\text{Au}_{51}\text{Al}_{35}\text{Yb}_{14}$ 近似結晶)。近似結晶は、準結晶の局所構造単位であるクラスターが周期配列した結晶であり、準結晶の構造研究や物性研究において参考物質として使うことができる。3.においては、両者の比較によって準結晶の特異性が明瞭になった。(補足: 現状では準結晶と近似結晶の形成条件の違いは分かっていない。上記必要条件を満たしても近似結晶だけが形成し、準結晶が形成しないという結果が多い。この点は今後の課題である。)

なお、以上の詳細を下記文献にまとめた。

- New Group of Icosahedral Quasicrystals, T. Ishimasa, "Quasicrystals, Handbook of Metal Physics", Chapter 3, pp 49-74, edited by T. Fujiwara and Y. Ishii, Elsevier (Amsterdam), 2008.

3. 中間価数 Yb を含む正 20 面体準結晶の発見と量子臨界

上述したように、準結晶においては「広がってもいず、局在してもいない」臨界的な電子状態が期待されてきた。一方、これとは全く無関係に、価数揺動状態にある Yb などの希土類元素においては、4f 電子の遍歴・局在性が、磁性や強相関電子系の観点で研究されてきた。そこで、「この両者を兼ね備えた準結晶」が実現すれば、どんな性質を示すのだろうという素朴な疑問が生じる。この疑問に答える物質が、筆者の研究グループが発見した

$\text{Au}_{51}\text{Al}_{34}\text{Yb}_{15}$ 準結晶である。この準結晶は、2. で上述した方針に沿って発見された一連の準結晶の一つである。実際、 $\text{Au}-\text{Al}-\text{Yb}$ の他にも $\text{Zn}-\text{Mg}-\text{Yb}$ や $\text{Ag}-\text{Ga}-(\text{Mg})-\text{Yb}$ などの Yb を含む準結晶は見つかった。しかし、それらの準結晶においては Yb の価数は 2 価であり、この研究目的には不適当であった。 $\text{Au}-\text{Al}-\text{Yb}$ 準結晶において、中間価数 Yb が実現できたことは、我々

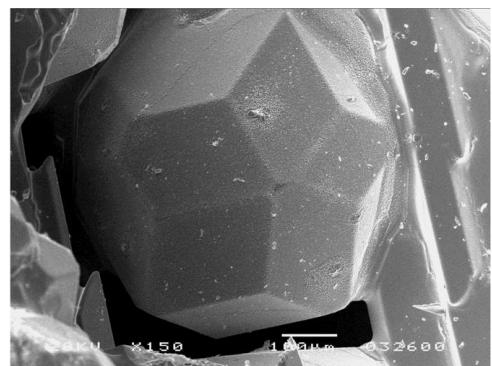


図2 Zn-Mg-Sc 単準結晶の形状

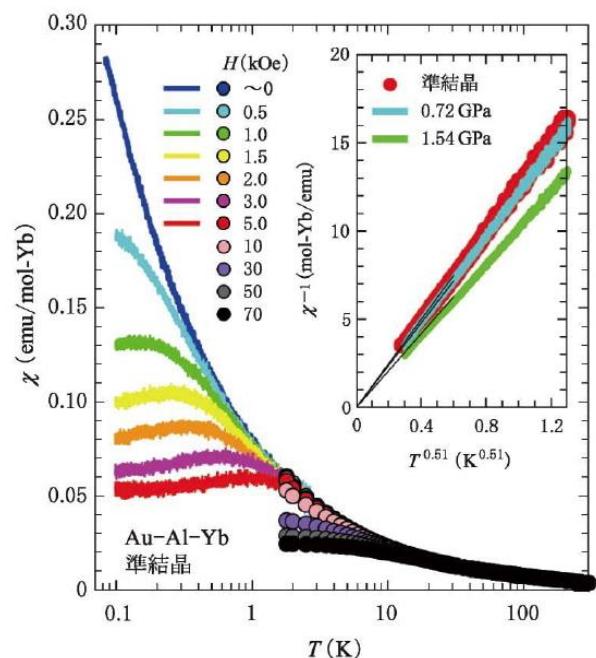


図3 Au-Al-Yb 準結晶の磁化率の温度依存性。

の制御を超えた単なる幸運である。

Au-Al-Yb 準結晶は、極低温において特異な磁性、電子比熱、電気抵抗の温度依存性を示すことが、名大の出口・佐藤グループとの共同研究の結果、明らかになった（下記の参考論文）。図 3 に磁化率 χ の温度依存性を示す。ゼロ磁場の場合、磁化率 χ は低温側において $T^{0.51}$ で急激に増加し、 $T=0$ において発散するように見える。実際、挿入図に見られるように χ^{-1} は $T^{0.51}$ と直線関係にあり、しかも、その直線は原点を通っている。（この結果は、 T^1 の Curie 則とは異なる磁化率の温度依存性である。また、電子比熱係数の温度依存性にも発散傾向が認められた。）

さらに、磁化率が発散する現象は、磁場の印可によって抑制されるが、圧力には依存しない所が際立っている（図 3 の挿入図参照）。以上の実験結果は、Au-Al-Yb 準結晶において「圧力に鈍感な」特異な量子臨界状態が生じる事を示している。圧力は通常、sf 混成の様子を変化させるため、このような圧力に対する鈍感さは結晶では例がない。

一方、準結晶と類似の組成をもつ Au-Al-Yb 近似結晶においては、磁化率は $T=0$ で有限の値を示し、通常の価数揺動結晶と同様な「重い電子」が実現していた。さらに、最近の研究によって、近似結晶の磁化率の温度依存性は圧力に大きく影響され、約 2GPa において、近似結晶も量子臨界性を示すことが見いだされた。このような近似結晶と準結晶の明確な違いは、特異な量子臨界現象が準結晶にだけ見られる固有の現象であることを示しているものと考えられる。この解釈の妥当性を確認することは、今後の重要な課題である。

以上の結果の詳細は下記 2 論文を参照されたい。

- Icosahedral quasicrystal and 1/1 cubic approximant in Au-Al-Yb alloys, T. Ishimasa, Y. Tanaka, and S. Kashimoto, Phil. Mag. **91**, 4218-4229 (2011).
- Quantum critical state in a magnetic quasicrystal, K. Deguchi, N.K. Sato, T. Hattori, K. Ishida, H. Takakura and T. Ishimasa, Nature Materials, **11**, 1013-1016 (2012).

3. 正 12 角形準結晶の発見

1985 年、筆者らは直径 1000Å 程度の Ni-Cr 微粒子中に「初めての正 12 角形準結晶」を発見した。これは、1 本の 12 回対称軸と、それに垂直な面内での準周期性をもつ「2 次元準結晶」であり、正 20 面体準結晶や正 10 角形準結晶に続く第 3 の準結晶である[*]。しかし、1990 年頃の時点では、正 12 角形準結晶の形成は微粒子や一部の超急冷合金に限られており、金属分野における研究は休止状態となった。

* この結果は、2011 年のノーベル化学賞の公式文書 "Scientific background on the Nobel Prize in Chemistry 2011: The Discovery of Quasicrystals" に参考文献 13 として引用された。http://www.nobelprize.org/nobel_prizes/chemistry/laureates/2011/advanced.htm の Advanced information を参照。

一方、近年 mesoporous silica などのセラミックス、micelle-forming dendrimer、ABC star polymer などの高分子、さらには Pt 表面の BaTiO₃ 層などにおいて正 12 角形準結晶が次々と発見され、物質界における 12 回対称の普遍性が明らかになってきた。そこで、2010 年ころに合金系の研究を再開した。目標は、結晶と同等レベルの構造完全性を持つ安定準結晶である。それが達成できれば、バルク試料を用いた各種の物性測定が可能になり、正 12 角形準結晶に固有の性質が浮かび上がるものと期待される。

実験的には、Mn-Cr-Si 合金に形成する 2 種類の近似結晶（高温相と低温相）から出発して合金探索を行った。その結果、Ni を 1% 含む合金として正 12 角形準結晶を発見した（図 1）。従来の合金正 12 角形準結晶は急冷などの非平衡処理を経て形成したのに対して、今

回発見された準結晶は β -Mn型結晶からの時効析出によって形成する。従って、安定準結晶に一歩近づいたものと言える。図4に高分解能電子顕微鏡像を示した。正12角形準結晶の特徴である正方形と正三角形のタイリング（1辺4.6Å）、さらにそれらが複合した正12角形の配置が観察される。しかし、詳細な解析の結果、準周期性は直径100Å程度の限られた範囲でしか実現していないことが判明した。現在、より高い構造完全性を持つ正12角形準結晶を目標に研究を継続している。

以上の結果を次の論文に発表した。

- Phason space analysis and structure modeling of 100 Å-scale dodecagonal quasicrystal in Mn-based alloy, T. Ishimasa, S. Iwami, N. Sakaguchi, R. Oota and M. Mihalkovic, Phil. Mag. **95** 3745-3767 (2015).

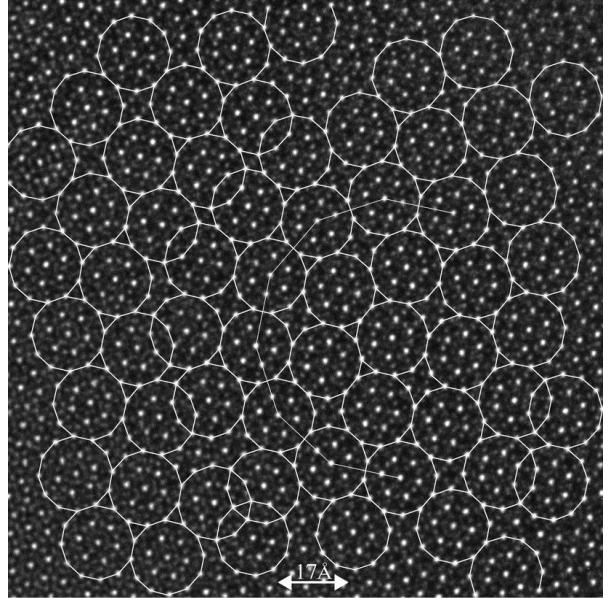


図4 正12角形準結晶の高分解能電子顕微鏡像

4. その他の特筆すべき成果：近似結晶 Zn_6Sc の動的柔軟性

2. で上述した一連の準結晶及びその近似結晶について、静的および動的構造、磁性などの物性について研究を行った。この中で、特筆すべき結果は、クラスター中心部の動的構造である。 Zn_6Sc 近似結晶の場合、これは3重殻に囲まれたZn4面体のTHzオーダーの回転運動である（図5）。この運動はラットリングと類似しているが、4個のZn原子が一体となって回転する点が異なる。約150K以下の低温では運動が停止して規則構造を成しているのに対して、室温などの高温においては4面体が回転運動を行なっている。動的柔軟性と名付けたこの新現象は、低温におけるX線構造解析と高温における中性子準弾性散乱実験の結果から解明されたものである。硬くて脆い金属間化合物の内部で、このような動的現象が生じている事実は自然の奥深さを示しており興味深い。

（補足：準結晶においても類似の動的現象は観察されたが、近似結晶におけるほど明瞭ではなく、確定には今後の研究が必要である。）

この結果を次の論文に発表した。

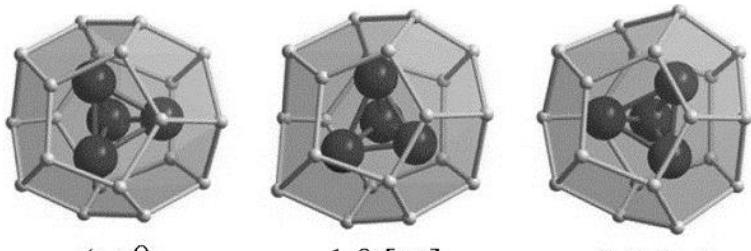


図5 4個のZn原子を内包する歪んだ12面体のスナップショット（分子動力学シミュレーションによる）

- Low-temperature phase of the Zn-Sc approximant, T. Ishimasa, Y. Kasano, A. Tachibana, S. Kashimoto and K. Osaka, Phil. Mag., **87**, Nos. 18-21, 2887-2897 (2007).
- Ordering and dynamics of the central tetrahedron in the 1/1 Zn_6Sc periodic approximant to quasicrystal, H. Euchner, T. Yamada, H. Schober, S. Rols, M. Mihalkovic, R. Tamura, T. Ishimasa and M. de Boissieu, J. Phys. Cond. Mat., **24**, 415403-1-9 (2012).

論文リスト (2017年4月現在)

石政 勉

I. 論文

1. Electrical resistivity of $\text{Gd}(\text{Al}_{1-x}\text{Cu}_x)_2$
J. Sakurai, T. Ishimasa and Y. Komura
J. Phys. Soc. Jpn., **43**, 1589-1593 (1977).
2. Direct observation of the intersection of sequence faults in the Fe-Cr σ -phase
T. Ishimasa, Y. Kitano and Y. Komura
Jpn. J. Appl. Phys., **19**, L483-L486 (1980).
3. Electron microscope observation of lattice defects in the Fe-Cr σ -phase
T. Ishimasa, Y. Kitano and Y. Komura
J. Solid State Chem., **36**, 74-80 (1981).
4. Faulted structure in the Fe-Cr σ -phase
T. Ishimasa, Y. Kitano and Y. Komura
phys. stat. sol. (a), **66**, 703-715 (1981).
5. Crystal structure and morphology of fine particles of vanadium silicides
T. Ishimasa and Y. Fukano
Jpn. J. Appl. Phys., **22**, 6-11 (1983).
6. Planar defect in A15 structure observed in Cr-Si fine particles
T. Ishimasa and Y. Fukano
Jpn. J. Appl. Phys., **22**, 1092-1097 (1983).
7. Nonperiodic electron microscopic structure images of Al-Mn
H.-U. Nissen, T. Ishimasa, R. Schlogl, P. Reiman and H. Guntherodt
Helvetica Phys. Acta, **58**, 819-822 (1985).
8. Crystal structure and morphology of Ni-Cr fine particles
T. Ishimasa and Y. Fukano,
Surface Sci., **156**, 241-248 (1985).
9. New ordered state between crystalline and amorphous in Ni-Cr particles
T. Ishimasa, H.-U. Nissen and Y. Fukano
Phys. Rev. Lett., **55**, 511-513 (1985).
10. Superconducting transition temperature of fine A15 V-Si alloy particles
S. Matsuo, T. Ishimasa and Y. Fukano
J. Phys. Soc. Jpn., **55**, 2790-2797 (1986).
11. Electron microscopy and image contrast calculation of Al-Mn quasicrystal

- T. Ishimasa and H.-U. Nissen
Physica Scripta, **T13**, 291-296 (1986).
12. Magnetic susceptibility and electrical resistivity of RGa₆ (R=rare earth metals)
Y. Tagawa, J. Sakurai, Y. Komura and T. Ishimasa
J. Less-Comm. Met., **119**, 269-275 (1986).
13. V⁵¹ Knight shift in fine V₃Si particles
K. Koyama, S. Matsuo, Y. Suzuki, T. Ishimasa and Y. Fukano
Jpn. J. Appl. Phys., **26**, 2138-2139 (1987).
14. Phonons, phasons and dislocations in Al-Mn quasicrystals studied by electron microscopy
D.N. Wang, T. Ishimasa, H.-U. Niseen and S. Hovmoller
Materials Science Forum, **22-24**, 381-396 (1987).
15. Orientation relation between icosahedral and crystalline phases in Al-Mn alloys
C. Beeli, T. Ishimasa and H.-U. Nissen
Phil. Mag. B, **57**, 599-608 (1988).
16. Quasicrystal structure in Al-Cu-Fe annealed alloy
T. Ishimasa, Y. Fukano and M. Tsuchimori
Phil. Mag. Lett., **58**, 157-165 (1988).
17. High-temperature magnetic properties of a stable Al₆₅Cu₂₀Fe₁₅ icosahedral phase
S. Matsuo, T. Ishimasa, H. Nakano and Y. Fukano
J. Phys. F, **18**, L175-L180 (1988).
18. Dislocations, domains and quenched phonon and phason strains in Al-Mn quasicrystals observed by electron microscopy
D.N. Wang, T. Ishimasa, H.-U. Niseen, S. Hovmoller and J. Rhyner
Phil. Mag. A, **58**, 737-752 (1988).
19. Electron microscopy of crystalloid structure in Ni-Cr small particles
T. Ishimasa, H.-U. Nissen and Y. Fukano
Phil. Mag. A, **58**, 835-863 (1988).
20. Magnetic properties and the electronic structure of a stable Al-Cu-Fe icosahedral phase
S. Matsuo, H. Nakano, T. Ishimasa and Y. Fukano
J. Phys.: Condens.Matter, **1**, 6893-6899 (1989).
21. Millimeter-size single quasicrystals in Al-Cu-Fe alloy
T. Ishimasa and M. Mori
Phil. Mag. Lett., **62**, 357-364 (1990).
22. Photoemission study of an Al-Cu-Fe icosahedral phase

- M. Mori, S. Matsuo, T. Ishimasa, T. Matsuura, K. Kamiya, H. Inokuchi and T. Matsukawa
J. Phys.: Condens. Matter, **3**, 767-771 (1991).
23. X-ray diffuse scattering of an Al-Cu-Fe single quasicrystal
M. Mori, T. Ishimasa and Y. Kashiwase
Phil. Mag. Lett., **64**, 49-57 (1991).
24. Resonant photoemission study of the Al-Cu-Fe icosahedral phase
M. Mori, K. Kamiya, S. Matsuo, T. Ishimasa, H. Nakano, H. Fujimoto and H. Inokuchi
J. Phys.: Condens. Matter, **4**, L157-L162 (1992).
25. Crystal structures of small Al-rich Fe alloy particles formed by a gas-evaporation technique
M. Tsuchimori, T. Ishimasa and Y. Fukano
Phil. Mag. B, **66**, 89-108 (1992) .
26. New superlattice ordering in Al-Pd-Mn and Al-Pd-Mn-Si icosahedral quasicrystals
T. Ishimasa and M. Mori
Phil. Mag. B, **66**, 513-532 (1992).
27. Magnetic and electrical properties of the single-grained Al-Cu-Fe icosahedral phase
S. Matsuo, T. Ishimasa, M. Mori and H. Nakano
J. Phys.: Condens. Matter, **4**, 10053-10060 (1992).
28. Magnetic properties of an icosahedral phase of Ga-Mg-Zn alloy
K. Saito, S. Matsuo and T. Ishimasa
J. Phys. Soc. Jpn., **62**, 604-611 (1993).
29. 透過電子顕微鏡による Cr₂B 型および Fe₂B 型ホウ化物の結晶粒界, 双晶, および面欠陥の観察
小谷啓子, 石政 勉, 沖 猛雄
日本金属学会誌, **57**, 125-134 (1993).
30. Crystallographic characterization of a single quasicrystal of Al-Cu-Fe
X.B. Kan, J. Robertson, S.C. Moss, J. Kulik, T. Ishimasa, M. Mori, A. Quivy
D. Gratias, V. Elser and P. Zschack
J. Non-Crys. Solids, **153&154**, 33-39 (1993).
31. Use of periodic approximants in the structure refinement of icosahedral Al-Cu-Fe
E. Cockayne, R. Phillips, X.B. Kan, S.C. Moss, J. Robertson, T. Ishimasa and M. Mori
J. Non-Crys. Solids, **153&154**, 140-144 (1993).

32. Temperature-independent contribution in weak localization theory and Boltzman conductivity in a single-grained icosahedral Al-Cu-Fe quasicrystal
S. Matsuo, H. Nakano, K. Saito, M. Mori and T. Ishimasa
Solid State Comm., **86**, 707-710 (1993).
33. Anisotropic magnetic property of single-grained $\text{Al}_{68}\text{Pd}_{23}\text{Mn}_9$ icosahedral quasicrystals
S. Matsuo, H. Nakano, T. Ishimasa and M. Mori
J. Phys. Soc. Jpn, **62**, 4044-4052 (1993).
34. Magnetic and electrical properties of a single-grained $\text{Al}_{70}\text{Pd}_{21}\text{Mn}_9$ icosahedral quasicrystal
K. Saito, S. Matsuo, H. Nakano, T. Ishimasa and M. Mori
J. Phys. Soc. Jpn, **63**, 1940-1947 (1994).
35. Temperature-independent contribution in weak localization theory with spin scattering in a single-grained Al-Pd-Mn icosahedral quasicrystal
S. Matsuo, H. Nakano, T. Ishimasa and M. Mori
Solid State Comm., **92**, 811-814 (1994).
36. Superlattice ordering in Al-Pd-Mn low-temperature icosahedral phase
T. Ishimasa
Phil. Mag. Lett., **71**, 65-73 (1995).
37. Magnetic susceptibility change in the Al-Pd-Mn icosahedral quasicrystals obeying time dependence of phason relaxation
S. Matsuo, T. Ishimasa and H. Nakano
Solid State Comm., **102**, 575-578 (1997).
38. Magnetic properties of F and P type icosahedral quasicrystals of Al-Pd-Mn
A. Kobayashi, S. Matsuo, T. Ishimasa and H. Nakano
J.Phys.:Condensed Matter, **9**, 3205-3217 (1997).
39. Crystal structure of a cubic $\text{Al}_{70}\text{Pd}_{23}\text{Mn}_6\text{Si}$; a 2/1 rational approximant of an icosahedral phase
K. Sugiyama, N. Kaji, K. Hiraga and T. Ishimasa
Z. Krisllogr., **213**, 90-95 (1998).
40. Crystal structure of a cubic $\text{Al}_{67}\text{Pd}_{11}\text{Mn}_{14}\text{Si}_7$; a new 1/1 rational approximant for the Al-Pd-Mn icosahedral phase
K. Sugiyama, N. Kaji, K. Hiraga and T. Ishimasa
Z. Krisllogr., **213**, 168-173 (1998).
41. Reversible transformation between an icosahedral AlPdMn phase and a modulated

structure of cubic symmetry

M. de Boissieu, M. Boudard, T. Ishimasa, E. Elkaim, J.P. Lauriat, A. Letoublon,
M. Audier, M. Duneau and A. Davroski
Phil. Mag. A., **78**, 305-326 (1998).

42. Formation of F- and P-type icosahedral quasicrystals in the Zn-Mg-Ho alloy system

T. Shimizu and T. Ishimasa

Jpn. J. Appl. Phys., **37**, 5691-5696 (1998).

43. Magnetic and electrical properties of a stable Zn-Mg-Ho icosahedral quasicrystal

S. Kashimoto, S. Matsuo, H. Makano, T. Shimizu and T. Ishimasa

Solid State Comm., **109**, 63-67 (1999).

44. Stability of the F2-AlPdMn phase

A. Letoublon, T. Ishimasa, M. de Boissieu, M. Boudard, B. Hennion, M. Mori

Phil. Mag. Lett., **80**, 205-213 (2000).

45. Microdomain structure in the disordered Zn-Mg-Ho icosahedral phase

T. Ishimasa and T. Shimizu

Jpn. J. Appl. Phys., **39**, 1235-1240 (2000).

46. Formation conditions of two quasiperiodic modifications of Al-Pd-Mn icosahedral phase
studied by annealing method

I. Hirai, T. Ishimasa, A. Letoublon, M. Boudard and M. de Boissieu

Mater. Science Eng., **294-296**, 33-36 (2000).

47. Phase transition and diffuse scattering studies in the AlCuFe ternary system

M. Boudard, A. Letoublon, M. de Boissieu, T. Ishimasa, M. Mori, E. Elkaim and
J.P. Lauriat

Mater. Science Eng., **294-296**, 217-220 (2000).

48. Long-range and short-range F-type ordering in Zn-Mg-Ho icosahedral phase

T. Ishimasa and T. Shimizu

Mater. Science Eng., **294-296**, 232-236 (2000).

49. Development of 3D visualization system for the study of physical properties of
quasicrystals

H. Nakano, Y. Sato, S. Matsuo and T. Ishimasa

Mater. Science Eng., **294-296**, 542-547 (2000).

50. Dependence of electrical resistivity and magnetoresistance on long range (F-type)
ordering in Zn-Mg-Ho icosahedral quasicrystals

S. Kashimoto, H. Nakano, Y. Arichika, T. Ishimasa and S. Matsuo

- Mater. Science Eng., **294-296**, 588-591 (2000).
51. Antiferromagnetic orderes in Ising model simulations in an icosahedral Zn-Mg-Ho structure
S. Matsuo, T. Ishimasa and H. Nakano
Mater. Science Eng., **294-296**, 633-637 (2000).
52. Icosahedral quasicrystal in annealed Zn-Mg-Sc alloys
Y. Kaneko, Y. Arichika and T. Ishimasa
Phil. Mag. Lett., **81**, 777-787 (2001).
53. Quasiperiodic long-range ferrimagnetic order in Ising model simulation in an icosahedral quasicrystal model structure
S. Matsuo, T. Ishimasa and H. Nakano
J. Mag. Mag. Mater., **246**, 223-232 (2002).
54. Cu-based icosahedral quasicrystal formed in Cu-Ga-Mg-Sc alloy
Y. Kaneko, R. Maezawa, H. Kaneko and T. Ishimasa
Phil. Mag. Lett., **82**, 483-493 (2002).
55. Millimeter-sized single icosahedral quasicrystal of Zn-Mg-Sc alloy
Y. Kaneko and T. Ishimasa
Jpn. J. Appl. Phys., **41**, L1112-1115 (2002).
56. A Zn-based icosahedral quasicrystal classified into the same structure type as Cd-based icosahedral quasicrystals?
T. Ishimasa, Y. Kaneko and H. Kaneko
J. Alloys. Comp., **342**, 13-17 (2002).
57. Ten-fold-like magnetic anisotropy in electrical conductivity of Al-Pd-Mn icosahedral quasicrystal
T. Mizutani, H. Nakano, S. Kashimoto, Y. Takatani, M. Mori, T. Ishimasa and S. Matsuo
J. Alloys. Comp., **342**, 360-364 (2002).
58. Magnetic property of a Zn-Mg-Sc icosahedral quasicrystal
S. Kashimoto, H. Nakano, Y. Kaneko, T. Ishimasa and S. Matsuo
J. Alloys. Comp., **342**, 384-388 (2002).
59. Magnetic property of F₂M-type Al-Pd-Mn quasicrystals
S. Motomura, T. Ishimasa, I. Hirai, S. Kashimoto, H. Nakano and S. Matsuo
J. Alloys. Comp., **342**, 393-396 (2002).
60. A new series of icosahedral quasicrystals in Zn-M-Sc (M=Ag, Au, Pd, Pt) alloys

- S. Kashimoto, R. Maezawa, Y. Kasano, T. Mitani and T. Ishimasa
Jpn. J. Appl. Phys., **42**, L1268-1271 (2003).
61. New group of stable icosahedral quasicrystals - structural properties and formation conditions
T. Ishimasa, H. Kaneko and Y. Kaneko
J. Non-Crys. Solids, **334-335**, 1-7 (2004).
62. Formation condition of stable Cu-Ga-Mg-Sc icosahedral quasicrystal
Y. Kaneko, R. Maezawa and T. Ishimasa
J. Non-Crys. Solids, **334-335**, 8-11 (2004).
63. Structure analysis of Zn-Mg-Ho icosahedral quasicrystal by modified Rietveld method using ellipsoid and sphere windows
T. Ishimasa, K. Oyamada, Y. Arichika, E. Nishibori, M. Takata, M. Sakata and K. Kato
J. Non-Crys. Solids, **334-335**, 167-172 (2004).
64. Magnetic and electrical properties of a new type Zn-Mg-Sc icosahedral quasicrystal
S. Motomura, Y. Kaneko, S. Kashimoto, H. Nakano, T. Ishimasa and S. Matsuo
J. Non-Crys. Solids, **334-335**, 393-397 (2004).
65. Magnetic and electrical properties of Cu-Ga-Mg-Sc icosahedral quasicrystals
H. Yamada, S. Motomura, R. Maezawa, H. Nakano, T. Ishimasa and S. Matsuo
J. Non-Crys. Solids, **334-335**, 398-402 (2004).
66. Long range antiferromagnetic order in Ising model simulations in two-dimensional Penrose lattice
S. Matsuo, S. Fujiwara, H. Nakano and T. Ishimasa
J. Non-Crys. Solids, **334-335**, 421-426 (2004).
67. Icosahedral quasicrystals in Zn-T-Sc (T=Mn, Fe, Co, Ni) alloys
R. Maezawa, S. Kashimoto and T. Ishimasa
Phil. Mag. Lett., **84**, 215-223 (2004).
68. Magnetic property of stable icosahedral quasicrystal in Zn-Fe-Sc
S. Kashimoto, S. Motomura, R. Maezawa, S. Matsuo and T. Ishimasa
Jpn. J. Appl. Phys., **43**, L526-L529 (2004).
69. Electrical Properties of a Stable Icosahedral Quasicrystal Zn-Fe-Sc
S. Motomura, S. Kashimoto, R. Maezawa, T. Ishimasa and S. Matsuo
J. Phys. Soc. Jpn., **73**, 3111-3114 (2004).
70. Ising spin orderes conforming to the local matching rule and simulated spin structures in

Penrose lattice

S. Matsuo, T. Ishimasa and H. Nakano

J. Phys. Soc. Jpn., **74**, No. 3, 1036-1043 (2005).

71. Diffuse scattering and phason fluctuations in the Zn-Mg-Sc icosahedral quasicrystal and its Zn-Sc periodic approximant

M. de Boissieu, S. Francoual, Y. Kaneko and T. Ishimasa

Phys. Rev. Lett., **95**, 105503-1-4 (2005).

72. A metastable icosahedral quasicrystal in the Zn-Mg-Yb alloy system

T. Mitani and T. Ishimasa

Phil. Mag., **86**, Nos. 3-5, 361-366 (2006).

73. Systematic study of magnetic properties in Zn-based Tsai-type icosahedral quasicrystals and their approximant

S. Kashimoto, S. Motomura, S. Francoual, S. Matsuo and T. Ishimasa

Phil. Mag., **86**, Nos. 3-5, 725-732 (2006).

74. Simulation study on antiferromagnetic order of Ising spins in a Zn-Mg-Ho model structure

S. Matsuo, A. Aimurula, T. Ishimasa, S. Motomura and H. Nakano

Phil. Mag., **86**, Nos. 3-5, 741-745 (2006).

75. Ising spin orders and magnetic interactions analyzed in phason space in a 2-dimensional Penrose lattice

S. Matsuo, S. Motomura and T. Ishimasa

Phil. Mag., **87**, No.1, 51-61 (2007).

76. New icosahedral quasicrystals in Cu-based ternary alloys

T. Honma and T. Ishimasa,

Phil. Mag., **87**, Nos. 18-21, 2721-2726 (2007).

77. Low-temperature phase of the Zn-Sc approximant

T. Ishimasa, Y. Kasano, A. Tachibana, S. Kashimoto and K. Osaka

Phil. Mag., **87**, Nos. 18-21, 2887-2897 (2007).

78. Formation condition and magnetic properties of p-type icosahedral quasicrystals in Zn-Fe-Sc-L (L = Ho, Er, Tm) alloys

S. Kashimoto, C. Masuda, S. Motomura, S. Matsuo and T. Ishimasa

Phil. Mag., **87**, Nos. 18-21, 2929-2937 (2007).

79. Lattice dynamics of the Zn-Mg-Sc icosahedral quasicrystal and its Zn-Sc periodic 1/1 approximant

- M. de Boissieu, S. Francoual, M. Mihalkovi, K. Shibata, A.Q.R. Baron, Y. Sidis,
T. Ishimasa 他 11 名
Nature Materials **6**, 977 - 984 (2007) .
80. Neutron scattering study on spin correlations and fluctuations in the transition-metal
-based magnetic quasicrystals Zn-Fe-Sc
T.J. Sato, S. Kashimoto, C. Masuda, T. Onimaru, I. Nakanowatari, K. Iida,
R. Morinaga and T. Ishimasa
Physical Review, **B77**, 014437:1-7 (2008).
81. Growth of Facetted Microvoids in Zn-Fe-Sc Quasicrystals
T. Ishimasa and J. Matsunagi
Phil. Mag., **88**, 1985-1993 (2008).
82. Atomic dynamics of the i-ScZnMg and its 1/1 approximant phase: experiment and
simulation
M. Mihalkovic, S. Francoual, K. Shibata, M. de Boissieu, A.Q.R. Baron, Y. Sidis,
T. Ishimasa 他 11 名
Phil. Mag., **88**, 2311-2318 (2008).
83. Magnetic behavior of Fe and Tm in Zn-Fe-Sc-Tm icosahedral quasicrystals
S. Kashimoto, C. Masuda and T. Ishimasa
Z. Kristallogr., 224, 59-63 (2009).
84. Crystal structure of 1/0-2/1-1/0 Cu-Al-Sc approximant
T. Ishimasa, A. Hirao, T. Honma and M. Mihalkovic
Phil. Mag. **91**, 2594-2602 (2011).
85. Approximant of dodecagonal quasicrystal formed in Mn-Si-V alloy
H. Iga, M. Mihalkovic and T. Ishimasa
Phil. Mag. **91**, 2624-2633 (2011).
86. Icosahedral quasicrystal and 1/1 cubic approximant in Au-Al-Yb alloys
T. Ishimasa, Y. Tanaka, and S. Kashimoto
Phil. Mag. **91**, 4218-4229 (2011).
87. Magnetic properties of σ - and hexagonal-Mn₇₆Si₁₈Cr₆ approximant phases of
a dodecagonal quasicrystal
S. Kashimoto, A. Kocjan, Z. Jaglicic, S. Jazbec, H. Iga, T. Ishimasa, and J. Dolinsek
Phys. Rev. **B84**, 224201:1-11 (2011).
88. Dodecagonal quasicrystals still in progress
T. Ishimasa

- Israel J. Chem., **51**, 1216-1225 (2011).
89. Ordering and dynamics of the central tetrahedron in the 1/1 Zn₆Sc periodic approximant to quasicrystal
H. Euchner, T. Yamada, H. Schober, S. Rols, M. Mihalkovic, R. Tamura,
T. Ishimasa and M. de Boissieu
J. Phys. Cond. Mat., **24**, 415403-1-9 (2012).
90. Quantum critical state in a magnetic quasicrystal
K. Deguchi, N.K. Sato, T. Hattori, K. Ishida, H. Takakura and T. Ishimasa
Nature Materials, **11**, 1013-1016 (2012).
91. Tetrahedron dynamics in the icosahedral quasicrystals i-ZnMgSc and i-ZnAgSc and the cubic 1/1-approximant Zn₆Sc
H. Euchner, T. Yamada, S. Rols, T. Ishimasa, Y. Kaneko, J. Ollivier, H. Schober,
M. Mihalkovic and M. de Boissieu
J. Phys. Cond. Mat., **25**, 115405-1-10 (2013).
92. Lattice dynamics in the icosahedral quasicrystals i-AnMgSc and i-ZnAgSc and the cubic 1/1-approximant Zn₆Sc
H. Euchner, T. Yamada, S. Rols, T. Ishimasa, J. Ollivier, H. Schober,
M. Mihalkovic and M. de Boissieu
J. Phys. Cond. Mat., **26**, 055402-1-7 (2014).
93. Valence change driven by constituent element substitution in the mixed-valence quasicrystal and approximant Au-Al-Yb
S. Matsukawa, K. Tanaka, M. Nakayama, K. Deguchi, K. Imura, H. Takakura
S. Kashimoto, T. Ishimasa and N.K. Sato
J. Phys. Soc. Jpn., **83**, 034705-1-5 (2014).
94. Transport properties of the Au-Al-Yb quasicrystal and approximant under hydrostatic pressure
S. Matsukawa, K. Tanaka, M. Nakayama, S. Kunikata, K. Deguchi, K. Imura,
T. Ishimasa and N.K. Sato
Acta Physica Polonica A, **126**, 527-530 (2014).
95. Tsai-type quasicrystal and its approximant in Au-Al-Tm alloys
K. Tanaka, Y. Tanaka, T. Ishimasa, M. Nakayama, S. Matsukawa, K. Deguchi and
N.K. Sato
Acta Physica Polonica A, **126**, 603-607 (2014).
96. Localized electron magnetism in the icosahedral Au-Al-Tm quasicrystal and crystalline

approximant

M. Nakayama, K. Tanaka, S. Matsukawa, K. Deguchi, K. Imura, T. Ishimasa and N.K. Sato

J. Phys. Soc. Jpn, **84**, 024721-1-6 (2015).

97. Crystal structure of superconducting 1/1 cubic Au-Ge-Yb approximant with Tsai-type cluster

K. Deguchi, M. Nakayama, S. Matsukawa, K. Imura, K. Tanaka, T. Ishimasa and N.K. Sato

J. Phys. Soc. Jpn, **84**, 015002-1-2 (2015).

98. Superconductivity of Au-Ge-Yb approximants with Tsai-type clusters

K. Deguchi, M. Nakayama, S. Matsukawa, K. Imura, K. Tanaka, T. Ishimasa and N.K. Sato

J. Phys. Soc. Jpn, **84**, 023705-1-4 (2015).

99. Thermal expansion of a Au-Al-Yb intermediate valence quasicrystal

T. Watanuki, S. Kashimoto, T. Ishimasa, A. Machida, S. Yamamoto, Y. Tanaka, M. Mizukami, N. Kawamura and S. Watanabe

Solid State Com., **211**, 19-22 (2015).

100. Dodecagonal quasicrystal in Mn-based quaternary alloys containing Cr, Ni and Si

S. Iwami and T. Ishimasa

Phil. Mag. Lett., **95**, 229-236 (2015).

101. Phason space analysis and structure modeling of 100 Å-scale dodecagonal quasicrystal

in Mn-based alloy

T. Ishimasa, S. Iwami, N. Sakaguchi, R. Oota and M. Mihalkovič

Phil. Mag. **95** 3745-3767 (2015).

102. Pressure-driven quantum criticality and T/H scaling in the icosahedral Au-Al-Yb approximant

S. Matsukawa, K. Deguchi, K. Imura, T. Ishimasa and N.K. Sato

Jpn. J. Appl. Phys., **85** 063706-1-4 (2016).

II. 國際會議議事錄

1. TEM observation and dynamical calculation of image contrast in Al-Mn quasicrystal

T. Ishimasa and H.-U. Nissen

Proc. XIth Int. Cong. on Electron Microscopy, Kyoto 1986, p.1533-1534

2. The crystalloid structure in Ni-Cr small particles

- T. Ishimasa, Y. Fukano and H.-U. Nissen
Proc. I.L.L./CODEST workshop on Quasicrystalline Materials, Grenoble
1988, p.168-177.
3. Structure instability of Al-Cu-Fe icosahedral phase
T. Ishimasa
Proc. China-Japan seminars on Quasicrystals, Tokyo 1989, Beijing 1990, p.64-71.
4. X-ray study of an Al-Cu-Fe single quasicrystal
M. Mori, T. Ishimasa and Y. Kashiwase,
Proc. China-Japan seminars on Quasicrystals, Tokyo 1989, Beijing 1990, p.88-95.
5. Qualitative characterization of phason strain in Al-Cu-Ru quasicrystals,
Y. Kitano, T. Watanabe and T. Ishimasa
Proc. XIII Int. Cong. on Electron Microscopy, Paris 1994, p.675-676.
6. X-ray study of Al-Pd-Mn icosahedral phase
M. Mori and T. Ishimasa
Proc. 5th Int. Conf. on Quasicrystals, Avignon 1995, p.144-147.
7. Weak localization and electron-electron interaction effects in Al-Pd-Mn, icosahedral phase
S. Matsuo, H. Nakano and T. Ishimasa
Proc. 5th Int. Conf. on Quasicrystals, Avignon 1995, p.488-492.
8. Structural properties and formation conditions of Al-Pd-Mn low-temperature icosahedral phase
T. Ishimasa
Proc. 5th Int. Conf. on Quasicrystals, Avignon 1995, p.648-651.
9. Powder X-ray diffraction study of Zn-Mg-Ho icosahedral phase
T. Ohno and T. Ishimasa
Proc. 6th Int. Conf. on Quasicrystals, Tokyo 1997, p.39-42.
10. Structure of a 2/1 cubic approximant in the Al-Pd-Mn-Si system
K. Sugiyama, N. Kaji, K. Yubuta, K. Hiraga and T. Ishimasa
Proc. 6th Int. Conf. on Quasicrystals, Tokyo 1997, p.199-206.
11. Phason driven phase transition in the icosahedral phase of AlPdMn
M. de Boissieu, M. Boudard, T. Ishimasa, E. Elkaim, L.P. Lauriat, A. Letoublon,
M. Audier and A. Davroski,
Proc. 6th Int. Conf. on Quasicrystals, Tokyo 1997, p.347-354.
12. Diffuse scattering of Al-Pd-Mn and Al-Cu-Fe icosahedral phase
M. Mori, T. Ogawa, T. Ishimasa, M. Tanaka and S. Sasaki

- Proc. 6th Int. Conf. on Quasicrystals, Tokyo 1997, p.387-390.
13. Anomalously slow change in magnetic susceptibility in Al₇₀Pd_{21.5}Mn_{8.5} icosahedral quasicrystals obeying time dependence of phason relaxation
S. Matsuo, T. Ishimasa and H. Nakano
Proc. 6th Int. Conf. on Quasicrystals, Tokyo 1997, p.467-470.
14. X-ray diffuse scattering in icosahedral AlPdMn phase and relations with a phase transition
A. Letoublon, M. de Boissieu, M. Boudard, M. Audier, J.P. Simon, T. Ishimasa and J.F. Berar
Proc. Int. Conf. on Aperiodic Crystals, Alpe d'Huez 1997, p.439-443.
15. Diffuse scattering and Huang scattering in Al-based icosahedral quasicrystals
M. Mori, T. Ishimasa, M. Tanaka and S. Sasaki
Advanced Materials and Processing - PRICM 3, Honolulu 1998, p.1455-1460.
16. Ising model simulation of magnetic structures in a Zn-Mg-Ho structure model
S. Matsuo, T. Ishimasa and H. Nakano
Mat. Res. Soc. Symp. Proc. Vol. 553, 1999, p.427-432.
17. Structure properties of Zn-based icosahedral quasicrystals: Superlattice ordering and atomic clusters
T. Ishimasa
Advanced Materials and Processing - PRICM 4, Honolulu 2001, 71-74.
18. Formation of icosahedral quasicrystal in Zn-Mg-Sc alloy
Y. Kaneko and T. Ishimasa
Advanced Materials and Processing - PRICM 4, Honolulu 2001, 2523-2526.
19. Search and synthesis of new family of quasicrystals
T. Ishimasa, S. Kashimoto and R. Maezawa
Mat. Res. Soc. Symp. Proc. Vol. 805, 2004, 3-14.
20. Hume-Rothery rule as a formation condition of new icosahedral quasicrystals
T. Ishimasa
TMS symposium proceedings "The science of complex alloy phases", San Francisco, 2005, 231-250.
21. Synthesis of stable icosahedral quasicrystals in Zn-Sc based alloys and their magnetic properties
S. Kashimoto and T. Ishimasa
Proceedings of the 1st International Symposium on TOP2005, Sapporo

- (World Scientific, Singapole, 2006) p. 145-150.
22. Low-temperature phase transition in Zn-Sc crystalline approximant
 A. Tachibana, Y. Kasano and T. Ishimasa
 Proc. 16th International Microscopy Congress, Sapporo 2006, p.1783.
23. Icosahedral faceted microvoids in Zn-Fe-Sc quasicrystal
 J. Matsunagi and T. Ishimasa
 Proc. 16th International Microscopy Congress, Sapporo 2006, p.1784.
24. Atomic Dynamics in Complex Metallic Alloys
 H. Euchner, S. Pailhes, T. Yamada, R. Tamura, T. Ishimasa, S. Rols, H. Schober,
 M. Mihalkovic, H-R. Trebin, D. Schopf, S. Bhler-Paschen, A. Haghaghirad, F. Ritter,
 W. Assmus, Y. Grin, L. Nguyen and M. de Boissieu,
 MRS Proceedings 1517 (2013); doi:10.1557/opr.2013.38.
25. Dynamical flexibility in the periodic Zn₆Sc 1/1-aapproximant
 H. Euchner, T. Yamada, H. Schober, S. Rols, M. Mihalkovic, R. Tamura,
 T. Ishimasa and M. de Boissieu
 Aperiodic Crystals, Springer, 2013, pp. 253-260.
26. Magnetic properties of the Au-Al-Yb approximant under hydrostatic pressure
 S. Matsukawa, K. Deguchi, K. Imura, T. Ishimasa and N.K. Sato
 J. Phys. Conf. Ser., **809** 012013-1-5 (2017).
27. Aging effects of dodecagonal quasicrystal formed in Mn-Cr-Ni-Si alloys
 K. Toyonaga and T. Ishimasa, J. Phys. Conf. Ser., **809** 012015-1-4 (2017).

III. 総説・解説

1. 非化学量論的組成 V-Si 微粒子の超伝導遷移温度
 松尾 進, 石政 勉, 深野泰茂
 豊田研究報告, 1987, 40巻, pp.15-19
2. 安定準結晶の構造と単準結晶の作製
 石政 勉, 森 昌弘
 日本結晶成長学会誌, 1991, 18巻, 3号, pp.391-404
3. 規則格子の観点からみた準結晶構造
 石政 勉
 まつりあ, 2000, 39巻, 8号, pp.654-657
4. 準結晶の新しい合金系

石政 勉

金属, 2004, 74巻, 1号, pp.20-23

5. 新合金の準結晶：その構造と形成条件

石政 勉

日本結晶学会誌, 2007, 49巻, 1号, pp.18-23

6. 磁性準結晶における量子臨界現象

佐藤憲昭, 出口和彦, 石政 勉

固体物理, 2013, 48巻, 7号, pp.55-62

7. Tsai型クラスターをもつAu-Ge-Yb近似結晶の超伝導

出口和彦, 佐藤憲昭, 石政 勉

固体物理, 2015, 50巻, 9号, pp.25-35

8. Mysteries of icosahedral quasicrystals: How are the atoms arranged?

T. Ishimasa

IUCrJ, 3, 230-231 (2016).

IV. 著書

分担執筆

1. New Group of Icosahedral Quasicrystals

T. Ishimasa

"Quasicrystals, Handbook of Metal Physics", Chapter 3, pp 49-74, edited by T. Fujiwara and Y. Ishii, Elsevier (Amsterdam), 2008.

V. その他

(1) Preface: The Eleventh International Conference on Quasicrystals

T. Ishimasa and Y. Ishii

Phil. Mag. 91, 2419-2420 (2011).