

2022 年度
日本物理学会北陸支部
定例学術講演会

講演概要集

期日： 2022 年 11 月 26 日(土)

会場： 富山大学五福キャンパス 工学部

G16 (総合教育研究棟(工学系))

主催： 日本物理学会北陸支部

協力： 富山大学

Meeting Abstracts of Hokuriku Branch of JPS
2022 Annual Meeting, November 26, 2022
University of TOYAMA

2022年度 日本物理学会北陸支部 定例学術講演会 プログラム

期日：2022年11月26日（土）

会場：富山大学工学部 G16 (総合教育研究棟(工学系))

特別講演と支部総会

13:00 ~ 14:00 特別講演

「ハイパーマテリアル」新学術創成とその局在磁性
マテリアル創成工学科・教授

田村隆治（東京理科大学先進工学部）

於：F会場（G16 多目的ホール）

14:00 ~ 14:30 支部総会

於：F会場（G16 多目的ホール）

会場および座長一覧表

受付 09:00~ G16 エントランスホール

会場	A会場 23 講義室	B会場 24 講義室	C会場 25 講義室	D会場 26 講義室	E会場 27 講義室
午前 前半		9:30~10:30 プラズマ・放電 安藤利得 (金沢大)	9:45~10:30 磁性 谷田博司 (富山県立大)	9:45~10:30 レーザー・分光 榎本勝成 (富山大)	9:45~10:30 非晶質・薄膜/ X線・放射線 小川泉(福井大)/ 池本弘之(富山大)
休憩					
午前 後半		10:45~12:00 プラズマ・放電 伊藤弘昭 (富山大)	10:45~12:00 磁性 桑井智彦 (富山大)	10:45~11:45 レーザー・分光 小林かおり (富山大)	10:45~12:00 X線・放射線 吉田拓生 (福井大学)
昼食時間					
13:00 ~ 14:00 特別講演 F会場（G16 多目的ホール）					
14:00 ~ 14:30 支部総会 F会場（G16 多目的ホール）					
休憩					
午後 前半	14:45~16:15 物性基礎・計算機シ ミュレーション 池本弘之 (富山大)	14:45~16:15 プラズマ・放電 立松芳典 (福井大)	14:45~16:15 磁性/低温/ 有機分子・誘電体 室裕司 (富山県立大)	14:45~16:30 レーザー・分光 森脇喜紀 (富山大)	14:45~16:15 X線・放射線/ 素粒子・原子核 柿崎充 (富山大)

講演時間は、講演 10 分、質疑 5 分の合計 15 分です。

第 1 鈴は 7 分経過時、第 2 鈴は 10 分経過時、第 3 鈴は 15 分経過時です。

講演会に関する連絡事項

■ 受付

- ・受付はG16(総合教育研究棟)の玄関エントランスホールにて09:00よりおこないます。
- ・参加者は必ず参加登録をお願いいたします。
- ・参加費は無料です。

■ 一般講演会場

- ・発表時間は講演10分、質疑応答5分、計15分です。
- ・第1鈴7分経過時、第2鈴10分経過時、第3鈴15分経過時です。
- ・発表機材としては液晶プロジェクタのみが用意されています。

接続コネクタはVGA/HDMIです。

講演のセッションが開始する前に、液晶プロジェクタで正常に表示されるかの試験をあらかじめ行っておいてください。また、パソコンはありませんので発表者が用意してください。接続に要する時間も講演時間に含まれます。

■ 特別講演会場

- ・13:00より特別講演を多目的ホールでおこないます。

■ 支部総会

- ・特別講演終了後、多目的ホールにて支部総会をおこないます。

■ 休憩所

- ・休憩室は2階22講義室です。

■ 喫煙について

- ・学内はすべて禁煙です。

■ 昼食・売店について

- ・生協食堂は五福本店食堂が営業していません。(営業時間: 11:00 ~ 13:00)
- ・購買部や周辺の飲食店をご利用下さい。

■ 懇親会

- ・本年度も懇親会は開催いたしません。
- ・休憩室を懇親のためにご利用ください。

■ 講演会本部

- ・講演会本部は1階11講義室です。連絡事項等がございましたらお越しく下さい。

■ 駐車場

- ・車で来学される場合は、学内駐車場に駐車願います。駐車スペースには限りがございますので、できるだけ乗り合わせの上、ご来場ください。

富山大学交通案内

▶ 富山駅、五福キャンパス周辺マップ



▶ COMPASS



▶ SCALE

Copyright (c)2005-2007 UNIVERSITY OF TOYAMA. All Rights Reserved.

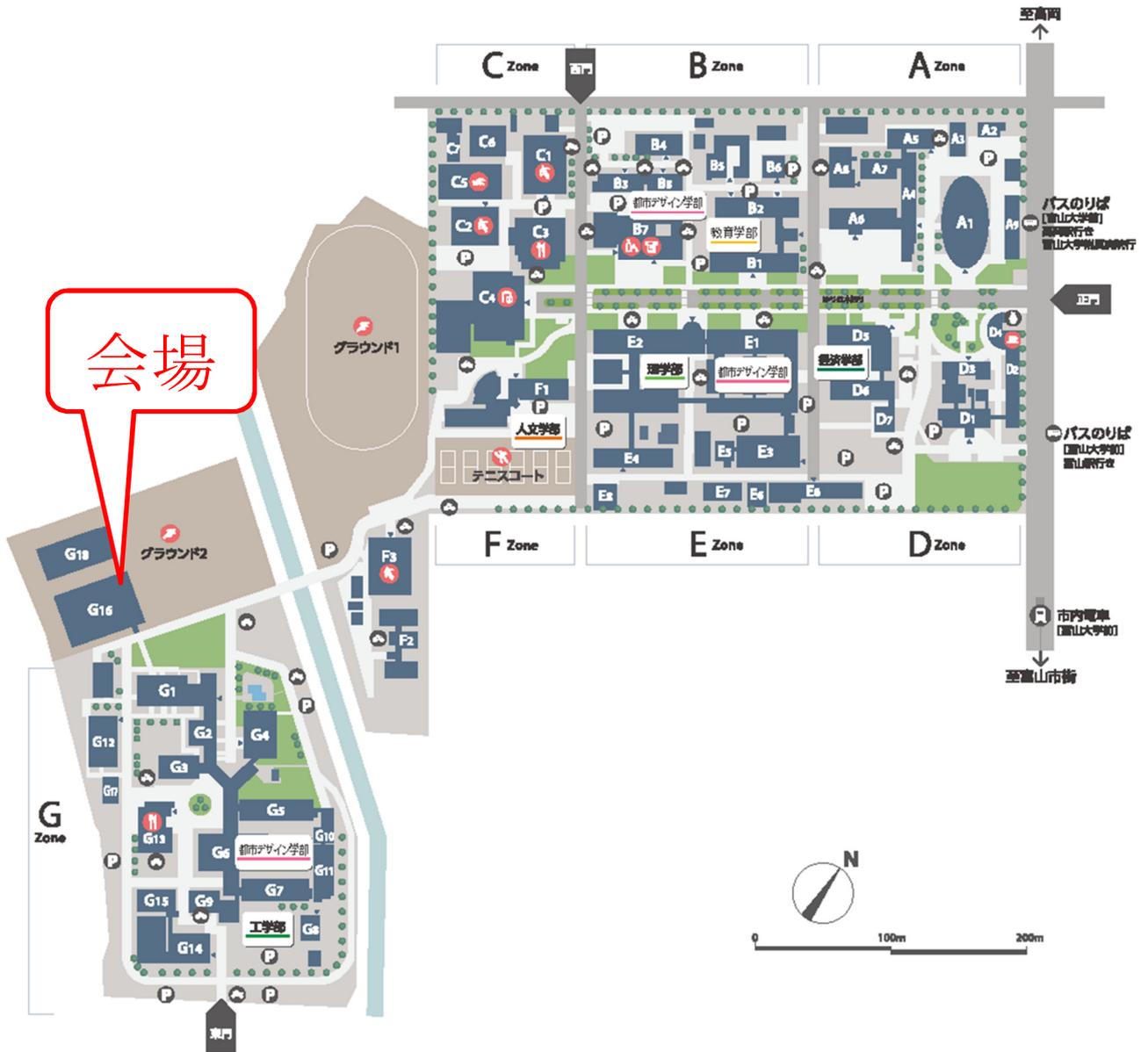
■ 富山駅 (JR) から

- (1) 市内電車
大学前行 約20分
- (2) 富山地鉄バス
「富山大学経由」3番乗り場 約20分
- (3) タクシー
タクシー乗り場から、約15分

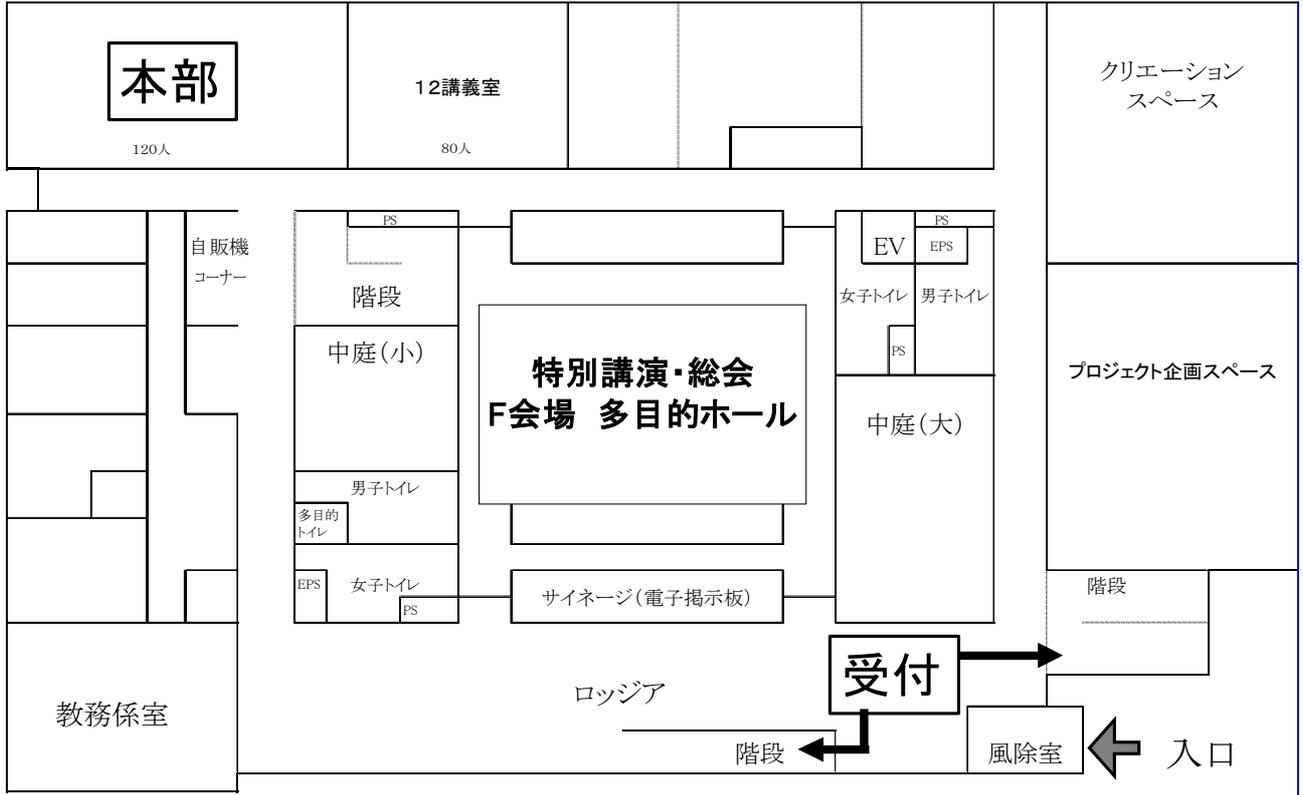
■ 北陸自動車道から

富山西ICから約10分

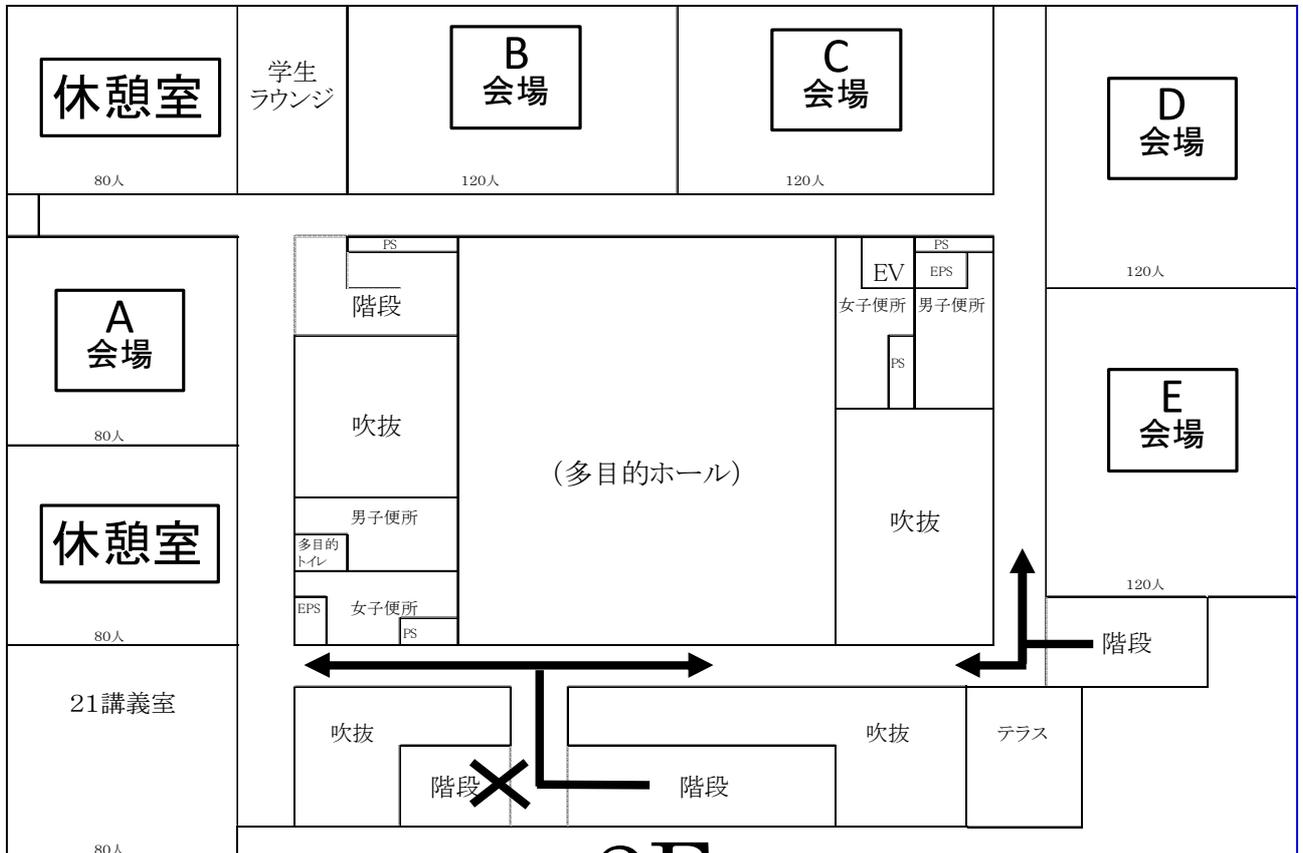
会場案内



一般・特別講演会場配置図 (G16)



1F



2F

A 会場

午後 前半 14:45 ~ 16:00

物性基礎・計算機シミュレーション

座長： 池本弘之 (富山大)

A-p01. ナノ摩擦による空間的に偏った界面温度上昇の滑り速度依存性に関する研究 (I)

金沢工大 EOE 応用研究セ

昇公祐, 下境雅也, 澤田陸輝, 林啓治

A-p02. ナノ摩擦による空間的に偏った界面温度上昇の滑り速度依存性に関する研究 (II)

金沢工大 EOE 応用研究セ

澤田陸輝, 昇公祐, 大島友都, 中川拓海, 林啓治

A-p03. 敵対的生成ネットワークを用いた金融時系列の数値解析とその評価

福井大工, ^A福井大院工

保谷太陽, 中嶋 大祐^A, 中根滉稀^A, 平田隆幸^A, 高田 宗樹^A

A-p04. ナノスケール水ポンプ内における水分子の挙動解析

福井大工

上坂康太, 古石貴裕

A-p05. 汎用並列化フレームワークを用いた分子動力学シミュレーションの高速化

福井大工

前田凌大, 古石貴裕

B 会場

午前 前半 09:30 ~ 10:30

プラズマ・放電

座長： 安藤利得 (金沢大)

B-a01. 二重陽極構造を有する反射三極管型仮想陰極発振器の特性評価

富山大工

深田悠晴、長谷川太星、伊藤弘昭、竹崎太智

B-a02. 多重陽極を用いた仮想陰極発振器における出力マイクロ波特性の陽極直径・陽極間距離依存性

富山大工

田中惟与、伊藤弘昭、竹崎太智

B-a03. 多周波数ガウスビーム出力ジャイロトロンFU CW GVIIにおける2ビーム放射の原因の研究

福井大学 遠赤外線領域開発研究センター

越戸義貴、立松芳典、南方一輝、瀬木賢汰、福成雅史、山口裕資

B-a04. 110 ~ 220 GHz帯における三段共振器ジャイロトロンの周波数包含率の最大化

福井大学 遠赤外線領域開発研究センター

南方一輝、山口裕資、越戸義貴、福成雅史、立松芳典

休憩 (10:30 ~ 10:45)

午前 後半 10:45 ~ 12:00

プラズマ・放電

座長： 伊藤弘昭 (富山大)

B-a05. 400 GHz帯二次高調波周波数連続可変ジャイロトロンに向けた

溝付き共振器における競合基本波の観測

福井大学遠赤外線領域開発研究センター, ^AInstitute of Applied Physics of the Russian Academy of Sciences
城取徹士, 福成雅史, 山口裕資, 立松芳典, Ivan Osharin^A, Dmitry Schegolkov^A, Ilya Bandurkin^A

B-a06. ジャイロトロンから放射される楕円ガウスビームの光渦変換

福井大学 遠赤外線領域開発研究センター, ^A核融合研

伊藤司, 福成雅史, 辻村亨^A, 城取徹士, 山口裕資, 立松芳典

B-a07. 高密度ポリエチレン(HDPE)のマイクロ波熱分解による水素ガスの評価

^A福井大学遠赤セ, ^B福井大工

小泉晶太郎^A, I. P. Abdi Karya^A, 仲川晃平^A, Al Jalali Muhammad^A, 鶴尾未来^B, 浅野貴行^{A, B}, 西海豊彦^B,
光藤誠太郎^{A, B}

B-a08. マイクロ波減圧蒸留法による農産資源からの香り抽出の検討

^A福井大工, ^B福井大遠赤セ, ^C福井大産学官

鶴尾未来^A, 仲川晃平^B, I. P. Abdi Karya^B, 西村文宏^C, 上村 泰希^A, 小泉 晶太郎^B, Al Jalali Muhammad^B,
浅野貴行^{A, B}, 西海豊彦^A, 光藤 誠太郎^{A, B}

B-a09. マイクロ波加熱による熱電材料 Bi_2Te_3 薄膜の結晶化への影響

^A福井大工, ^B福井大遠赤セ, ^C東海大工

上村泰希^A, 仲川晃平^B, I. P. Abdi Karya^B, 浅野貴行^{A, B}, 小森貴文^C, 高尻雅之^C, 光藤誠太郎^{A, B}

特別講演・総会・休憩 (13:00 ~ 14:45)

午後 前半 14:45 ~ 16:15 プラズマ・放電

座長： 立松芳典 (福井大)

B-p01. 多層構造を用いた光励起半導体スイッチの開発

^A福井大学 遠赤外領域開発研究センター, ^B福井大工

高橋雅人^A, 佐野巴則^A, 西尾英道^A, 石川裕也^A, 藤井裕^A, 光藤誠太郎^{A, B}

~~B-p02. 商用周波数対称多相交流放電における中性点電位の変動~~

~~金沢大理~~

~~清貴文, チャヒョンホ, 川端光輝, 安藤利得~~

~~B-p03. 対称多相交流放電において中性点に抵抗をつけた場合のシミュレーション~~

~~金沢大理~~

~~チャヒョンホ, 清貴文, 川端光輝, 安藤利得~~

~~B-p04. 多相交流放電における電流電圧特性の近似曲線の再検討~~

~~金沢大理~~

~~川端光輝, チャヒョンホ, 清貴文, 安藤利得~~

B-p05. 大電流 パルス放電回路のギャップスイッチ並列化 に対する放電電流波形の評価

富山大学, ^A長岡技術大学

松山隼, 小口拓哉, 重田宗明, 竹崎太智, 佐々木徹^A, 伊藤弘昭

B-p06. 層流型大気圧プラズマジェットの印加電界方向による特性評価

富山大工

松井大真, 伊藤弘昭, 竹崎太智

C 会場

午前 前半 09:45 ~ 10:30 磁性

座長： 谷田博司 (富山県立大)

C-a01. 直方晶 $R_2Pt_9Al_{16}$ ($R = Pr, Nd, Sm$)の育成

富山大理,^A富山大院理,^B原子力機構先端セ

三井崇弘, 太田玖吾^A, 渡部悠貴^A, 芳賀芳範^B, 松本裕司^A

C-a02. 単結晶X線回折とXAFS測定を用いた $Ce_2Pt_6X_{15}$ ($X = Al, Si$)の構造解析

^A富大院理,^B原子力機構先端セ,^CあいちSR

渡部悠貴^A, 太田玖吾^A, 芳賀芳範^B, 畑田圭介^A, Iesari Fabio^C, 岡島敏浩^C, 松本裕司^A

C-a03. ハニカム構造を持つ $CePt_6Al_{15}$ と $Ce_2Pt_6Al_{12}Si_3$ の磁性

富山大理理,^A富山大理,^B原子力機構先端セ,^CあいちSR

太田玖吾, 渡部悠貴, 三井崇弘^A, 芳賀芳範^B, 畑田圭介, Iesari Fabio^C, 岡島敏浩^C, 松本裕司

休憩 (10:30 ~ 10:45)

午前 後半 10:45 ~ 12:00 磁性

座長： 桑井智彦 (富山大)

C-a04. 希土類三元化合物 $CeFeSi$ の単結晶作成と物性

富山県立大

浦瑠希, 谷田博司

C-a05. $RNiGe_2$ (R :希土類)の単結晶育成

金沢大 自然科学研究科

石渡光生, 井田啓介, 大橋政司

C-a06. ペロブスカイト型強磁性体 $La_{0.6}Ca_{0.4}MnO_3$ における磁気特性と結晶成長の相関性

金沢大学 自然科学研究科

井田啓介, 石渡光生, 大橋政司

C-a07. Ni-Mn-Inホイスラー合金の合成と磁気特性

金沢大学大学院自然科学研究科

永田一貴, 石渡光生, 井田啓介, 大橋政司

C-a08. $Ho_{1-x}R_xB_2$ ($R = Gd, Tb, Nd$)の磁気熱量特性

富山大院理工

吉永翔真, 並木孝洋, 西村克彦

特別講演・総会・休憩 (13:00 ~ 14:45)

午後 前半 14:45 ~ 16:15 磁性/低温/有機分子・誘電体

座長： 室裕司 (富山県立大)

C-p01. $HoAl_2$ における磁気特性に及ぼすB置換の効果

富山大院理工

藤本智大, 並木孝洋, 西村克彦

C-p02. T_C が増大した $1T''$ - $NbTe_2$ の極低温物性と単結晶育成

金沢大物理,^A金沢大保健,^B金沢大総合技術

牧野隼士, 岡本博之^A, 島村一利^B, 吉田靖雄

C-p03. $S=1/2$ 低次元反強磁性体 henmiliteのNMR

福井大遠赤セ, ^A東北大多元研

倉知豊, 林哉汰, 丸山薫, 石川裕也, 山本孟^A, 藤井 裕

C-p04. 17 Tまでの磁場中における角度分解電子輸送特性測定装置の開発

金沢大物理, ^A金沢大総合技術

下川貴也, 輪島裕樹, 島村一利^A, 阿部聡, 吉田靖雄

C-p05. 高出力光源コンパクトジャイロトンを用いた磁化検出型多周波 ESR 装置の開発

^A福井大遠赤セ, ^B神戸大分子フォトセ, ^C神戸大院理, ^D福井大工

伊藤丈朗^A, 石川裕也^A, 高橋英幸^B, 林哉汰^A, 増田祥大^C, 廣澤康平^A, 浅野貴行^D, 藤井裕^A, 大道英二^C, 太田仁^{B, C}, 光藤誠太郎^D

C-p06. 硫酸三グリシンの強誘電軸に垂直な方向の電流

富山大工

喜久田寿郎

D 会場

午前 前半 09:45 ~ 10:30 レーザー・分光

座長： 榎本勝成 (富山大)

- D-a01. 一水素化カルシウムCaH分子の電子励起状態の寿命測定
富山大院理工
松本耀介, 八倉巻翔太, 真橋秀斗, 小林かおり, 森脇喜紀
- D-a02. ギ酸メチルのマイクロ波スペクトルの帰属の拡張評価
富山大理, ^A金沢大理
濱中真希, 小林かおり, 常川省三, 大橋信喜美^A
- D-a03. 磁気トラップ法を用いたRe微粒子の超伝導転移温度測定
富山大院理工, ^A福井大院工, ^B阪大院基礎工
井口貴裕, 熊倉光孝^A, 芦田昌明^B, 森脇 喜紀

休憩 (10:30 ~ 10:45)

午前 後半 10:45 ~ 11:45 レーザー・分光

小林かおり (富山大)

- D-a04. PbOのB1($v' = 4$)状態の摂動の解析と新たな $\Omega = 1$ の状態の測定
富山大理
東條太一, 中野愛, 中野嘉保, 丸橋直生, 丸山浩司, 南大介, 榎本勝成
- D-a05. 重力波望遠鏡KAGRAにおけるレーザー強度安定化システムのインストールと現在の強度雑音
富山大院理工
加藤順平
- D-a06. KAGRA低温懸架系制御用光てこへの環境雑音の影響
富山大理
千葉天祐人 KAGRA Collaboration
- D-a07. 大型低温重力波望遠鏡KAGRAにおけるパラメトリック不安定性
富山大理
山本将之, KAGRA collaboration

特別講演・総会・休憩 (13:00 ~ 14:45)

午後 前半 14:45 ~ 16:30 レーザー・分光

座長： 森脇喜紀 (富山大)

- D-p01. LT-GaAs基板光伝導アンテナのサブバンドギャップ励起時の テラヘルツ波発生特性の評価
福井大工, ^A福井大遠赤セ
友永景介, 北原英明^A, 谷正彦^A
- D-p02. ZnTe結晶の800nm帯でのVerdet定数の評価
福井大工, ^A福井大遠赤セ, ^B物質・材料研
今瀬裕介, 北原英明^A, Miezel Talara^A, 谷正彦^A, Dmitry Bulgarevich^A 渡邊誠^A

- D-p03. アンテナ構造による金属スピントロニック素子からのテラヘルツ波放射効率の増強
福井大工,^A福井大遠赤セ,^B物質・材料研
小林可奈, Mieczel Talara^A, 谷正彦^A, Dmitry Bulgarevich^A, 渡邊誠^B
- D-p04. 光励起と電場を組み合わせた CdSe/ZnS 半導体量子ドットの運動操作法の開発
福井大工
稲葉勇人, 右馬健太郎, 岡本多英, 守安毅, 熊倉光孝
- D-p05. 磁場変調による金属スピントロニック素子からのテラヘルツ波放射測定
福井大工,^A福井大遠赤セ,^B物質・材料研
石井克幸, M. Talara^A, M.C. Escaño^A, 北原秀明^A, 谷正彦^A, D. Bulgarevich^B, 渡邊誠^A
- D-p06. 偏光フィルタリングと光検出器の飽和効果抑制によるテラヘルツ波の電気光学サンプリングにおける信号対雑音比の改善
福井大工,^A遠赤セ
種村泰希, 中村響, 古屋岳^A, 北原英明^A, 谷正彦^A
- D-p07. テラヘルツ時間領域コヒーレント分光計測における光量バランスによる信号対雑音比の改善
福井大工,^A遠赤セ
鯨田嵩大, 谷正彦^A, 北原英明^A, 古屋岳^A

E 会場

午前 前半 9:45 ~ 10:30 非晶質・薄膜/X線・放射線

座長： 小川泉 (福井大)/池本弘之 (富山大)

E-a01. 小角X線散乱、広域X線吸収微細構造によるSnナノ粒子の構造解析

^A富山大理, ^B弘前大理工

得地周紀^A, 池本弘之^A, 宮永崇史^B

E-a02. カーボンナノチューブに包摂されたSe鎖の構造

富山大理工, ^A弘前大理工, ^B名古屋大SR 研究センター, ^C筑波大学数理

河口怜央, 池本弘之, 宮永崇史^A, 田淵雅夫^B, 藤森利彦^C

E-a03. 複数シンチレータを用いたダークマター探索

福井大工

尾関昂志, 戸澤理詞, 丹羽雄大, 小川泉

休憩 (10:30 ~ 10:45)

午前 後半 10:45 ~ 12:00 X線・放射線

座長： 吉田拓生
(福井大学)

~~E-a04. GAGGシンチレータにおける波形弁別能の温度依存性の評価~~

~~福井大工~~

~~稲垣凌太, 中島恭平, 重川洋一, 林長宏~~

E-a05. Li含有液体シンチレーターにおける α 線の消光に関する研究

福井大・工, ^A若狭湾エネルギー研究センター

按田左助, 中島恭平, 鈴木耕拓^A

E-a06. Li含有液体シンチレーターの長期安定性評価

福井大・工, 若狭湾エネルギー研究センター

伊藤善亮, 小栗廉太郎, 中島恭平, 鈴木耕拓

E-a07. ⁴⁸Caのレーザー同位体分離における原子ビームプロファイルモニタの開発

福井大工, ^A阪大核セ

祐伯蓮, 小川泉, 仁木秀明^A, 平岩侑, 中島諄也

E-a08. ⁴⁸Caの大量生産に向けたレーザー同位体分離の研究

福井大工, ^A阪大核セ

平岩侑, 祐伯蓮, 中島諄也, 小川泉, 仁木秀明^A

特別講演・総会・休憩 (13:00 ~ 14:45)

午後 前半 14:45 ~ 16:30 X線・放射線/素粒子・原子核

座長： 柿崎充 (富山大)

E-p01. Geant4をベースにした⁴⁸Caに対するレーザー同位体濃縮のシミュレーション開発

福井大工, ^A阪大核セ

中島諄也, 平岩侑, 祐伯蓮, 小川泉, 仁木秀明^A

- E-p02. Axion 探索実験に向けた共振空洞-アンテナ系の制御プログラムの開発
福井大工 ^A東北大 RCNS, ^B東北大 ELPH
村松佳樹, 中川闘輝, 小川泉, 岸本康宏^A, 時安敦史^B
- E-p03. アクシオン探索実験制御プログラムの開発 -SパラメータからのQ値およびcouplingの導出-
福井大工, ^A東北大ニュートリノセ, ^B東北大 ELPH
中川闘輝, 村松佳樹, 小川泉, 岸本康宏^A, 時安敦史^B
- E-p04. 稀現象探索実験における機械学習での低バックグラウンド環境の実現
福井大工
丹羽雄大, 小川泉, 戸澤理詞, 尾関昂志
- E-p05. 大型ハドロン衝突型加速器によるWボソン質量測定シミュレーション
福井大工
前山滉太郎, 吉田拓生
- E-p06. ニュートリノ崩壊光子検出器較正用遠赤外分子レーザーのビームモニター装置の開発
福井大工, ^A中部大工, ^B福井大遠赤セ, ^C筑波大数理
王生尚志, 前山滉太郎, 吉田拓生, 中山和也^A, 古屋岳^B, 金信弘^C, 武内勇司^C, 飯田崇史^C,
他COBAND実験メンバー
- E-p07. 離散ハイゼンベルグ群の自己同型群の構造
福井大工
古居泰人

A-p01

ナノ摩擦による空間的に偏った界面温度上昇の滑り速度依存性に関する研究 (I) 金沢工大 EOE 応用研究セ 昇 公祐, 下境 雅也, 澤田 陸輝, 林 啓治

Molecular dynamics study on one-sided sliding-interfacial heat generation by wearless nanofriction (I)
Kanazawa Institute of Technology K. Nobori, M. Shimosakai, M. Sawata, K. Hayashi

Nano-ElectroMechanical Systems (NEMS) の使用時に起こる“摺動部材同士が原子スケールで平坦な広い面で接して常に擦れ、既に熱をもっている摺動部においてなお持続的に摩擦熱が発生し、かつ、弾性接触条件下での(摩擦を伴わない)動摩擦現象”(本講演および次の講演では“ナノ動摩擦”と略称)に関して、精密に測定する実験技術が世の中で未だ確立されていない。ナノ動摩擦について、我々は、分子動力学 (MD) 法 [1] による入念かつ精緻なシミュレーション実験の結果を踏まえ、散逸特性に普遍的に見られる法則性の洗い出し、および、それらの原子論的由来の理論解明に取り組み、NEMS 用人工材料の開発・設計指針として整備することを目標に研究を進めてきた。以前に得た成果の一つとして、「滑りに伴う摩擦熱の発生、したがって温度上昇は、摺動界面を挟む両側の部材で均等にではなく、片側の部材に偏って起こる。」ことを見出した [2]。この摩擦熱発生の偏りは NEMS の過熱による破損の防止や、エネルギー効率の観点から重要であると考えられる。

今回は、局所擬似温度の空間分布が定常的な状況下における界面温度差の滑り速度依存性 [3] を、滑り速度の広い領域に渡って明らかにした。摩擦熱発生は摺動界面の近傍で起こるが、人工的なサーマルバッファ (TB) 層が摩擦熱の発生機序に影響を与えぬよう、TB 層を摺動界面から十分に離して設けなければならない。この制約の下で、異なった滑り速度で、共通の平均界面温度かつ共通の圧力のもとでの局所擬似温度の空間的偏りを高い確度で比較できるように、膨大な回数のシミュレーション実験を行った。講演では、界面温度差の滑り速度依存性について特徴を整理し報告する。

[1] K. Hayashi *et al.*, Computer Physics Communications, 182, 2032 (2011).

[2] K. Hayashi *et al.*, Computer Physics Communications, 179, 98 (2008).

[3] 遠田, 昇, 澤田, 林, 日本物理学会 第 76 回年次大会 概要集, 2736 (2021).

A-p02

ナノ摩擦による空間的に偏った界面温度上昇の滑り速度依存性に関する研究 (II) 金沢工大 EOE 応用研究セ 澤田 陸輝, 昇 公祐, 大島 友都, 中川 拓海, 林 啓治

Molecular dynamics study on one-sided sliding-interfacial heat generation by wearless nanofriction (II)
Kanazawa Institute of Technology M. Sawata, K. Nobori, Y. Oshima, T. Nakagawa, K. Hayashi

ナノ動摩擦 [1] について、以前からの研究で我々は、原子論的な散逸機序の理論検討をもとに、滑り速度に対するエネルギー散逸レート、換言すると、摩擦仕事率の依存性に関し、以下の (i) ~ (iii) の普遍的特徴があることを見出した。

(i) 滑り速度に閾値 v_{th} が存在し、滑り速度を v_{th} より速く設定した場合には、遅く設定した場合に比べ、ナノ動摩擦力密度が格段に大きい [2]。〔閾現象〕

摺動界面で相接する部材 (A および C とする) 表面の、摺動方向に沿った格子定数をそれぞれ λ_{AA} , λ_{CC} とする。簡単のため結晶 C が格子振動をしない MD モデルを採用し、 λ_{AA} が共通で λ_{CC} が異なるモデルを比較したとき、

(ii) $\lambda_{CC} > \lambda_{AA}$ の場合と $\lambda_{CC} < \lambda_{AA}$ の場合それぞれで、 v_{th}/λ_{CC} と $\lambda_{CC}^{-1} - \lambda_{AA}^{-1}$ との間には、A における一群の励起選択則を満たすフォノンモードの分散関係を反映した関係 (例えば比例関係) が成り立つ [2,3]。〔閾法則-1〕

(iii) $|\lambda_{CC}^{-1} - \lambda_{AA}^{-1}|$ の値が共通であっても、 $\lambda_{CC} < \lambda_{AA}$ の場合には $\lambda_{CC} > \lambda_{AA}$ の場合よりも v_{th}/λ_{CC} の値が高い [3,4]。〔閾法則-2〕

ナノ動摩擦による熱発生の空間的偏り [1] は (iii) に関連して生ずる。講演では、界面温度差の滑り速度依存性 [1] に関し、偏りを決定づける原子論的な諸要因について検討した結果を報告する。

[1] 昇 他, “ナノ摩擦による空間的に偏った界面温度上昇の滑り速度依存性に関する研究 (I)”, 本予稿集.

[2] K. Hayashi, Molecular Simulation, 47, 674 (2021).

[3] K. Hayashi, Molecular Simulation, 48, 1362 (2022).

[4] K. Hayashi, Computational Materials Science, 188, 110156 (2021).

A-p03

敵対的生成ネットワークを用いた金融時系列の数値解析とその評価

福井大工 保谷 太陽, 福井大院工 中嶋 大祐, 中根 滉稀, 平田 隆幸, 高田 宗樹

Nonlinear Evaluation for Numerical Simulations of Financial Time Series Using GANs

Fac. of Eng., Univ. of Fukui T. Hodani, N. Nakajima, K. Nakane, T. Hirata, H. Takada

2020年3月19日、東京株式市場で日経平均株価は続落し、1万6552円83銭で終えた^[1]。新型コロナウイルス問題の収束が見込めないのか株価は下落した。この下落の要因として、新型コロナウイルスの影響による企業業績の悪化だけでなく、人工知能(AI)もしくは、自動売買アルゴリズムにおける自動的なロスカットの連鎖による連続的な売りが発生したことが挙げられる^[2]。このことは、金融市場にAIや自動売買アルゴリズムの導入が進んでいることを示唆しているのかもしれない。また、教育現場にとどまらず、企業活動においてもリモートワークが普及しており、経済活動の背景となる社会構造が変化した可能性もある。

本研究では金融時系列モデルの構築を目的とし、その一例として、日本国内の上場企業のうち数社を抽出して、日足データから株価を予測する数値解析に関する研究を行う。ここでは、上述の経済イベント等に着眼して、その前・後の時系列区間を対象とした。また、敵対的生成ネットワーク GAN (Generative Adversarial Networks)を用いた。それぞれの金融時系列データおよびその数値解について非線形解析を行い、リアプノフ指数および並進誤差^[3]を算出して比較検討した。考察は講演での報告とする。

参考文献

- [1] 日本経済新聞社, "日経平均、終値 173 円安の 1 万 6552 円," 日本経済新聞社, 03 19 2020. <https://www.nikkei.com/article/DGXMZO56990520Z10C20A3000000> (2021 年 11 月 1 日参照)
- [2] S. Ponczek, E. Popina and L. Wang, "Dow average, who dropped-machine criminal theory emerging," Bloomberg, 06 02 2018. <https://www.bloomberg.co.jp/news/articles/2018-02-06/P3PJGE6JJVN01> (2021 年 11 月 1 日参照)
- [3] H. Takada, T. Morimoto, H. Tsunashima, T. Yamazaki, H. M. Miyao, "Applications of double-Wayland algorithm to detect anomalous signals," Forma, Vol. 21 (2), pp. 159-167, 2006.

A-p04

ナノスケール水ポンプ内における水分子の挙動解析

福井大工 上坂康太, 古石貴裕

Analyzing of water molecule behavior in nano-scale water channel

Fac. of Eng. Univ. of Fukui K. Uesaka, T. Koishi

水は人類にとって欠かせない物質であり、生命維持から産業活動までありとあらゆる場面で用いられる。体の中でも水の輸送が行われている。これはナノスケールで体細胞に存在する「アクアポリン」と呼ばれる水チャンネルが媒体となって行われている。このようなマイクロの世界で動く水チャンネルのメカニズムは詳しく解明されていない。そこで本研究ではナノスケールの水ポンプに着目した。カーボンナノチューブを用いて、ナノスケール水ポンプを作成し、分子動力学 (MD) シミュレーションを行い、水分子の挙動を解析した。

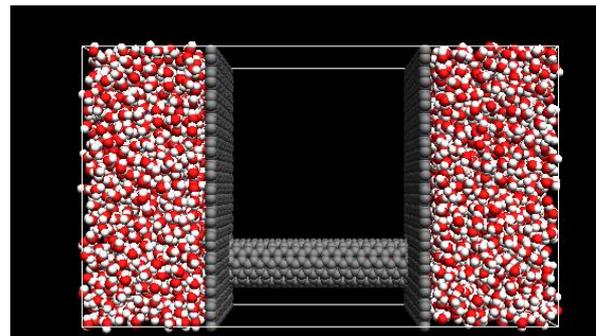


図1:シミュレーション系のスナップショット

今回シミュレーションを行う系には、水分子と2つのグラファイトで作った水槽、そしてそれらをつなぐカーボンナノチューブを配置した(図1)。今回のシミュレーションでは、系全体をNVTアンサンブルで平衡化し、10ns サンプリングを行った。このときに、半径変化周期と半径変化幅を設定し、その周期ごとにポンプの片側半分を変化幅分だけ縮め、元に戻すという操作を繰り返した。この設定した周期と変化幅を変えてシミュレーションを行うと特定の周期、変化幅のときに水に流れが生じることが分かった。そこで、最も強い流れが生じる半径変化周期と半径変化幅の条件を調べた。また、この流れの動作原理を解明するために、水分子のポンプ内での配向や、水分子がポンプに侵入する際の配向を調べ、特徴がないか探った。

汎用並列化フレームワークを用いた分子動力学シミュレーションの高速化

福井大工, 前田 凌大, 古石 貴裕

Increasing the speed of molecular dynamics simulation with general framework for parallelize

Fac. of Eng., Univ. of Fukui; R. Maeda, T. Koishi

分子動力学 (MD) シミュレーションは、原子の動きを直接計算して物質の性質を調べるものであるが、扱う分子の数やシミュレーションのステップ数が大きいときに計算量がかなり大きくなり、処理に時間がかかるという弱点がある。コンピュータの CPU に目を向けると、コンピュータの逐次計算の速度は年々高速化していたが、それも 2005 年度あたりで頭打ちとなっているという事実があるため、シミュレーションの高速化にはコンピュータの処理を一つの計算コアではなく複数の計算コアに分割して行う並列計算が必要である。しかしこの手法は、並列化する上で各計算コアの担当する分子の偏りをなくするための空間分割の方法や、相互作用の計算などにおいて他の計算コアが担当する分子の情報を参照するときの通信の方法を工夫する必要があり、ここにはかなり高いプログラム作成技術と膨大な時間が必要となる。そこで、理化学研究所・神戸大学の開発した Framework for Developing Particle Simulator (FDPS) を用いる。FDPS とは、粒子データと相互作用計算関数を与えると最適化された形で計算を行い、粒子の相互作用の力を返してくれる C++ ライブラリである。FDPS を用いると、分子を均等に分ける空間分割、相互作用の計算や計算コア間の通信を行うための最適化されたプログラムのライブラリを使用できる。これにより、我々は空間分割や通信などを考えることなく、少ない労力で高速に計算することができる。今回の研究は、FDPS を分子動力学シミュレーションに適用することでどれだけ計算時間が短縮されるかを調べた。また、FDPS に付属されている、分子動力学シミュレーションなどの 2 粒子間の相互作用のコードを自動生成する PIKG を使い、相互作用を計算するための関数を変化させたときの計算時間も調べた。

B-a01

二重陽極構造を有する反射三極管型仮想陰極発振器の特性評価

富山大工 深田 悠晴, 長谷川 太星, 伊藤 弘昭, 竹崎 太智

Characteristic evaluation of reflex triode virtual cathode oscillator with double anode structure

Fac. of Eng., Univ. of Toyama Y. Fukada, T. Hasegawa, H. Ito, and T. Takezaki

仮想陰極発振器は高出力マイクロ波を発振する装置の1つであり、マイクロ波送電、加速器、プラズマ加熱、レーダなど様々な工業・産業分野での応用が期待されている。利点として、外部磁場が不要であることから単純な構造、GW級のマイクロ波が発振可能で、発振周波数の選択性がある。しかし、マイクロ波への電力変換効率が低く、発振周波数が広帯域となる傾向をもつことから、電力変換効率の向上、発振周波数の制御に向けた研究が行われている。

仮想陰極発振器は、陰極とメッシュ陽極から構成されており、メッシュ陽極に正の高電圧パルスを印加すると高電界により陰極表面から電子が放出され、メッシュ陽極を通過した電子がドリフト空間上で空間電荷制限電流値を超えると仮想陰極が形成される。仮想陰極は陰極と同電位であるため、後続電子は仮想陰極で反射され、陰極-仮想陰極間を往復運動する。この往復運動と仮想陰極自身が時間的・空間的に振動することでマイクロ波が発振する。

仮想陰極発振器は動作時に、仮想陰極から漏れ電子が発生するため、全ての電子はマイクロ波発振に有効利用されていない^[1]。本研究では、マイクロ波出力の向上を目指し、漏れ電子を活用するために陽極構造を二重化させて実験を行い、出力マイクロ波特性および動作特性を調査した。図に実験装置を示す。実験では、陽極-陽極間距離を最大 28 mm まで変化させた。出力マイクロ波の放射エネルギーは、電磁波吸収体であるカーボン板と熱電対を用いたカロリメータ法によって評価した。

陽極-陽極間距離が 14 mm のとき、放射エネルギーが高くなる結果が得られた。また、他の陽極間距離におけるマイクロ波特性および出力電力の結果に関する詳細は発表にて報告する。

[1] S. Champeaux, Ph. Gouard, R. Cousson, and J. Larour "Improved Design of a Multistage Axial Vircator with Reflectors for Enhanced Performance", IEEE Trans. Vol.44, No.1 (2016)

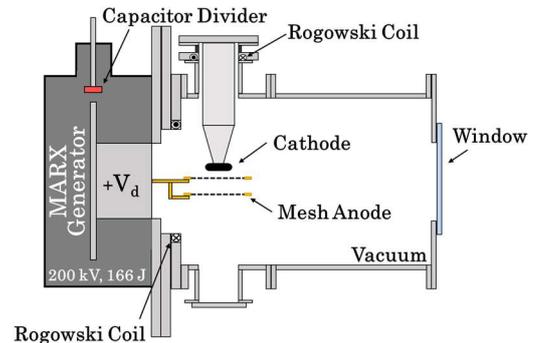


図 二重陽極反射三極管型仮想陰極発振器

B-a02

多重陽極を用いた仮想陰極発振器における出力マイクロ波特性の陽極直径・陽極間距離依存性

富山大工 田中 惟与, 伊藤 弘昭, 竹崎 太智

Dependence of anode diameter and anode-anode gap on output microwave characteristics in virtual cathode oscillator with multiple anodes

Fac. of Eng., Univ. of Toyama Y. Tanaka, H. Ito, T. Taichi

仮想陰極発振器は高電圧パルス技術を用いた高出力マイクロ波源であり、無線電力送電や核融合燃料のプラズマ加熱などへの応用が期待されている。この装置の特徴として他のマイクロ波発振装置と比較して高いマイクロ波電力を持つこと、構造が単純であることなどがあるが、実用化への課題として入力エネルギーに対して出力マイクロ波への変換効率が小さいことが挙げられる。

本研究で用いた仮想陰極発振器の構造を図に示す。仮想陰極発振器は陰極とメッシュ状の接地陽極から構成される。陰極に負の高電圧パルスを印加することで陰極から陽極に向かって電子が飛び出す。電子ビーム電流が空間電荷制限電流を超えると空間上に電子溜まりができ、陰極とほぼ同じ電位を持つ仮想陰極が形成される。これにより電子は往復運動を開始しマイクロ波が発振する。また仮想陰極自身も不安定な存在の為、仮想陰極自身の振動によってもマイクロ波が発振する。この際全ての電子が往復運動をするわけではなく、仮想陰極を通過する電子も存在する。本研究ではこの電子を再利用するために一枚目の陽極から下流 20~34mm の位置に直径 35~60mm のメッシュ陽極を設置し、陽極直径及び陽極間距離依存性を調査した。出力マイクロ波エネルギーは K 熱電対を用いたカロリメータ法で測定した。詳細な実験条件や結果は発表にて報告する。

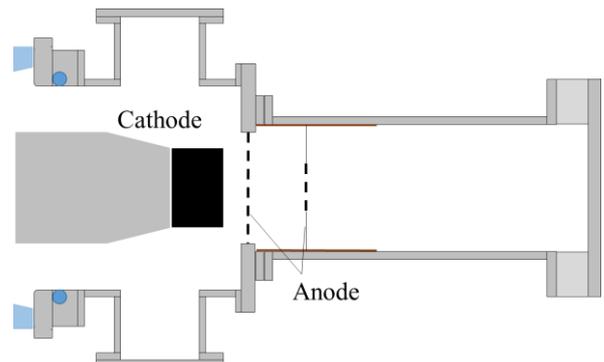


図. 多重陽極を用いた仮想陰極発振器の構造

B-a03

多周波数ガウスビーム出力ジャイロトロン FU CW GVIIにおける
2 ビーム放射の原因の研究

福井大遠赤セ, 越戸義貴, 立松芳典, 南方一輝, 瀬木賢汰, 福成雅史, 山口裕資

Study of the cause of two beam radiation in a multi-frequency Gaussian beam output gyrotron FU CW GVII

FIR, Univ. Fukui, Y. Koshido, Y. Tatematsu, K. Minakata, K. Seki, M. Fukunari, Y. Yamaguchi

Gyrotron FU CW GVIIは、内蔵モード変換器により多くの発振モード（周波数）に対してガウスビームを出力できるジャイロトロンである[1]。出力されるビームの放射パターン計測を行ったところ、ほとんどの発振モードに対してガウスビーム様のビーム形状を得ることができた。しかし、TE_{1,3}モード発振(146.625GHz)では、単一周波数発振であるにもかかわらず、図1のような2つのピークを持つ放射パターンであった。この理由として、2つのピークは、共振器内で回転方向の異なる2つの回転モード（順回転モード、逆回転モード）がそれぞれ内蔵変換器により、変換されて出力した結果であるという仮説を立てた。この仮説に従えば、電子の共振器への入射半径(R_b)を変えると、順回転および逆回転モードの電磁波と電子の結合係数が変化し、その結果、2つのピークの強度比が R_b により変わるはずである。補助磁場コイル電流 I_g を変化させることで R_b を変えることができる。そこで、TE_{1,3}モードの発振条件で I_g を変えて窓からの放射パターンを観測した。その結果、2つのピークの強度比の変化は、結合係数の $I_g(R_b)$ に対する変化で説明できた。このことから、TE_{1,3}モード発振時に得られた2つのピークは、共振器内で同時発振した順回転、逆回転モードが変換された2つのビームによるものである。

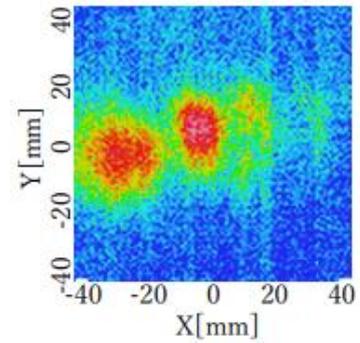


図1 TE_{1,3}モード発振時の放射ビーム断面の熱画像

図1 TE_{1,3}モード発振時の放射ビーム断面の熱画像

B-a04

110 ~ 220 GHz 帯における三段共振器ジャイロトロンの周波数包含率の最大化

南方一輝、山口裕資、越戸義貴、福成雅史、立松芳典
福井大学 遠赤外領域開発研究センター

Frequency occupation rate of a gyrotron with three-stage cavity resonator in 110 ~ 220 GHz

K. Minakata, Y. Yamaguchi, Y. Kosido, M. Fukunari and Y. Tatematsu
Research Center for Development of Far-Infrared Region, University of Fukui

高周波ジャイロトロンの多周波数化を目的として、異径の空洞を連結した多段共振器の導入を進めている [1, 2]。これまで、二段共振器を用いた実験に続き、更なる多周波数化のために共振器を三段化した。しかし、共振器の全長増加に伴い軸方向の磁場の不均一性も増し、多周波数化が困難となる。本研究では、磁場に対する共振器の配置を調節し、各共振器の周波数包含率の最大化を狙った。

第一 (C1) と第二共振器 (C2) の境界を磁場中心へ置いて発振実験を行った結果、C1 と C2 では広い周波数域で発振が得られ、第三共振器 (C3) の周波数可変域は狭くなった (図 ①)。一方、C2 と C3 の境界を磁場中心へ置くと、C2 と C3 では広い周波数域で発振が得られ、C1 の周波数可変域は狭くなった (図 ②) [2]。

右の表のとおり、110 ~ 220 GHz における各共振器の最大周波数包含率は、C1: 21.4%, C2: 6.2%, C3: 2.8% となった。以上、共振器内の磁場の均一性を改善することで周波数の可変幅を増やせることを示した。

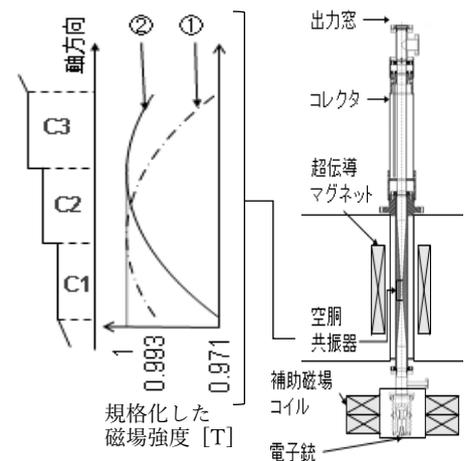


図 三段共振器ジャイロトロン
表 各共振器の周波数包含率

	二段	三段(①)	三段(②)
C1	21.4%	20.8%	15.8%
C2	5.8%	6.2%	5.5%
C3		0.6%	2.8%

[1] Y. Yamaguchi *et al.* IEEE Electron Dev. Lett. **41** (2020) 1241

[2] 第 38 回 プラズマ・核融合学会年会 渡邊将翔 他 (2021), 22Ca08

B-a05

400 GHz 帯二次高調波周波数連続可変ジャイロトロンに向けた 溝付き共振器における競合基本波の観測

福井大学 遠赤セ, Institute of Applied Physics of the Russian Academy of Sciences^A
城取徹士, 福成雅史, 山口裕資, 立松芳典, Ivan Osharin^A, Dmitry Schegolkov^A, Ilya Bandurkin^A
**Observation of Competing Fundamental Mode in a Grooved Cavity for a 400 GHz Band
Frequency-Tunable Second Harmonic Gyrotron**

FIR Center, Univ. of Fukui; Institute of Applied Physics of the Russian Academy of Sciences.
T Shirotori, M. Fukunari, Y. Yamaguchi, Y. Tatematsu, I. Osharin^A, D. Schegolkov^A, I. Bandurkin^A

400 GHz 帯二次高調波周波数連続可変ジャイロトロンにおける基本波とのモード競合抑制に向けて、ジャイロトロンの共振器に二つの溝を取り付けた溝付き共振器が提案されている[1]。溝付き共振器では、目的の二次高調波は溝と共振器の両方で共鳴し溝がない共振器と同様に発振する一方で、基本波は溝で散乱され電子との相互作用長が分断されるため発振が抑制される。福井大学遠赤外領域開発研究センターでは、実際に溝付き共振器を開発し性能評価実験を行っている。現状では溝の加工誤差のため、未だ目的の二次高調波発振は得られていない。その一方で基本波は溝の加工誤差の影響を受けにくいとされる。そこで本研究では基本波の発振周波数を計測し溝により基本波の相互作用長が分断されているか調べた。図1に基本波の周波数計測の結果を示す。黒の実線はサイクロトロン周波数、横線はそれぞれの相互作用長における発振周波数の計算値である。結果として、溝により相互作用長が分断され基本波が複数の周波数帯に分かれることを確認した。

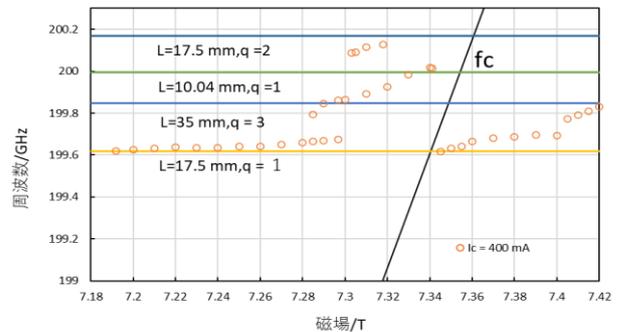


図1 周波数計測結果(qは軸方向モード次数)

[1] I. V. Bandurkin *et al.*, in IEEE Transactions on Electron Devices, 69, 3, 1402, (2022)

B-a06

ジャイロトロンから放射される 265 GHz 楕円ガウスビームの 位相補正鏡による光渦変換

福井大学 遠赤セ, 核融合研^A, 伊藤司, 福成雅史, 辻村亨^A, 城取徹士, 山口裕資,
立松芳典

**Optical vortex conversion of 265-GHz elliptical Gaussian beams emitted from a gyrotron using
phase-correcting mirrors**

FIR Center, Univ. of Fukui; NIFS^A T. Ito, M. Fukunari, T. Tsujimura^A, T. Shirotori, Y. Yamaguchi, Y. Tatematsu

テラヘルツ帯光渦は情報通信への応用が期待されている。ジャイロトロンはテラヘルツ帯で唯一の大電力光源であり、ジャイロトロンを用いればテラヘルツ帯の大電力光渦を実現できる。そこで本研究では、ジャイロトロンから放射される楕円ガウスビームを光渦の一種であるラゲールガウスビームに変換する位相補正鏡を開発した。位相補正鏡は2枚の鏡の組で構成され、その鏡面形状は入射ビームと目的ビームの位相分布の差を補正するように決定される。実験では福井大学遠赤外領域開発研究センターで開発したジャイロトロンを光源として、開発した位相補正鏡からの反射ビームの放射パターンを赤外線カメラを用いて計測した。図1にその放射パターンを示す。結果としてゆがみやサイドローブがあるもののラゲールガウスビームの特徴である円環状のプロファイルが得られた。

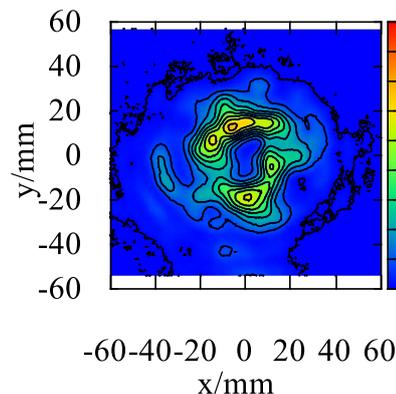


図1 : 位相補正鏡の反射ビームの放射パターン

B-a07

高密度ポリエチレン(HDPE)のマイクロ波熱分解による水素ガスの評価

福井大学遠赤セ^A 福井大工^B

小泉晶太郎^A, I. P. Abdi Karya^A, 仲川晃平^A, Al Jalali Muhammad^A,
鶴尾未来^B, 浅野貴行^{AB}, 西海豊彦^B, 光藤誠太郎^{AB}

Analysis of Hydrogen Gas from Microwave-assisted Decomposition of High Density Polyethylene(HDPE)

FIR-Center Univ. of Fukui^A; Fac. of Eng., Univ. of Fukui^B S. Koizumi^A, I. P. Abdi Karya^A, K. Nakagawa^A,
Al Jalali Muhammad^A, M. Tsuruo^B, T. Asano^{AB}, T. Nishiumi^B, S. Mitsudo^{AB}

近年、世界中でプラスチックのゴミ問題が深刻になっている。解決策のひとつとして、マイクロ波を用いて従来よりも低エネルギーかつ比較的簡単なプロセスでプラスチックを水素と炭素に分解できることが示され注目されている[1]。我々はより効率の良い水素生成を目指し、マルチモードマイクロ波加熱装置を用いて先行研究では行われていないマイクロ波照射条件の依存性や触媒劣化が与える影響について調査するために発生した水素の評価を行った。

ゾルゲル法で作製した鉄系触媒(FeAlO_x)と高密度ポリエチレン(HDPE)を2gずつ混合し、 μ Reactor EX(2.45GHz 1000W)で加熱した。結果としては、約5分で試料のほとんどが炭化し加熱中はガスが発生した。炭化した試料はカーボンナノチューブであることが確認でき、発生した混合ガスはGC(ガスクロマトグラフ)分析することにより水素が含有されていることが示された(図1)。当日は、様々なマイクロ波照射条件や触媒劣化が与える影響について実験した結果について報告する。

[1] X. Jie, et al., Nature Catalysis 3, 902–912 (2020).

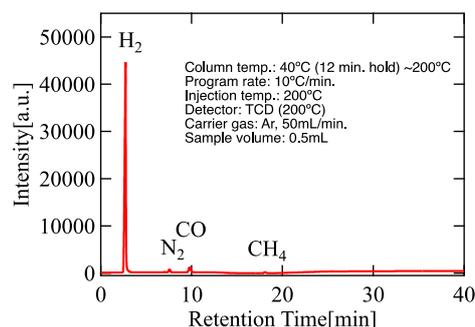


図1 発生ガスのGC測定結果

B-a08

マイクロ波減圧蒸留法による農産資源からの香り抽出の検討

福井大工^A, 福井大遠赤セ^B, 福井大産学官^C

鶴尾 未来^A, 仲川 晃平^B, I. P. Abdi Karya^B, 西村 文宏^C, 上村 泰希^A, 小泉 晶太郎^B,
Al Jalali Muhammad^B, 浅野 貴行^{AB}, 西海 豊彦^A, 光藤 誠太郎^{AB}

Examination of fragrance components extraction from agricultural resources by microwave vacuum distillation method

Sch. of Eng., Univ. of Fukui^A; FIR, Univ of Fukui^B; HISAC, Univ. of Fukui^C;
M. Tsuruo^A, K. Nakagawa^B, I. P. Abdi Karya^B, F. Nishimura^C, T. Uemura^A, S. Koizumi^B,
Al Jalali Muhammad^B, T. Asano^{AB}, T. Nishiumi^A, S. Mitsudo^{AB}

近年マイクロ波蒸留法は他の抽出法と比べて、植物から抽出した精油中の成分が異なるなどの理由から注目されている。本研究グループではマイクロ波減圧蒸留装置を開発することで精油抽出を行っており、従来の蒸留法より短時間で精油抽出可能であることが分かっている[1]。以前の研究では一般的に販売されている電子レンジをマイクロ波出力装置として用いていたが、この場合温度が不安定であるのが問題であった。そのため、今回 μ Reactor Ex という実験用のマイクロ波出力装置を用いて新たに右図の装置を構築し、ヒノキの蒸留水とオイルの抽出を行った。パワーの安定化が実現することで、温度調整することに成功した。温度調整が可能になったことで、低温で加熱するより高温で加熱した際、抽出できるオイルの量が多いことを確認できた。今後、加熱温度の違いによる蒸留水やオイルの成分構成の変化を確かめる。その際ヒノキから抽出した蒸留水やオイルの分析はGC-MSを用いて行い、詳しい分析結果は当日発表する。



図. マイクロ波減圧蒸留装置

[1] Y. Yamamoto et al., IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng., 550 012033 (2019)

B-a09

マイクロ波加熱による熱電材料 Bi_2Te_3 薄膜の結晶化への影響

福井大工^A, 福井大遠赤セ^B, 東海大工^C

上村泰希^A, 仲川晃平^B, I. P. Abdi Karya^B, 浅野貴行^{A,B}, 小森貴文^C, 高尻雅之^C, 光藤誠太郎^{A,B}

Effect of Microwave Heating on Crystallization of Thermoelectric Material Bi_2Te_3 Thin Film

Dept. of Appl. Phys., Univ. of Fukui^A, FIR Center, Univ. of Fukui^B, Dept. of Mater. Sci., Univ. of Tokai^C
T. Uemura^A, K. Nakagawa^B, I. P. Abdi Karya^B, T. Asano^{A,B}, T. Komori^C, M. Takashiri^C and S. Mitsudo^{A,B}

テルル化ビスマス(Bi_2Te_3)は、室温付近で高い熱電特性を有する熱電変換材料であり、ペルチェ効果を利用した冷却素子として幅広く利用されている。また、 Bi_2Te_3 の結晶構造は菱面体構造であるため、異なる2つのサイトのTeとBiからなる層状構造を成している。この結晶構造に起因して熱電特性に強い異方性を有するため、結晶配向付与による高性能化が注目されている。

本研究では、アルミナ(Al_2O_3)基板上に成膜した Bi_2Te_3 薄膜を用い、マイクロ波選択加熱による結晶配向性や粒径への影響を明らかにすることを目的とした。使用したマイクロ波加熱装置は、周波数 2.45GHz のマルチモードであり、照射出力と照射時間を制御することによって加熱条件を変化させて実施した。

図1は、一定マイクロ波出力 300-900W を3秒間照射した後の Bi_2Te_3 薄膜におけるX線回折の結果である。 Bi_2Te_3 の粉末回折パターンと比較すると、マイクロ波出力の上昇に伴い(00 ℓ)の回折強度が大きく成長しており、マイクロ波加熱により Bi_2Te_3 薄膜がc軸配向していることが明らかとなった。講演では、異なる照射形式や周波数でのマイクロ波加熱における Bi_2Te_3 薄膜の結晶化への影響を議論する予定である。

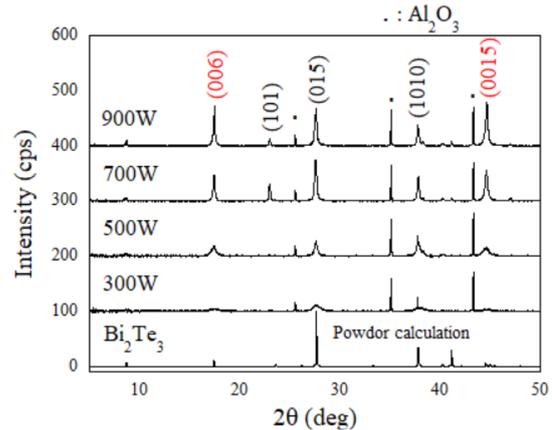


図1: Bi_2Te_3 薄膜における一定出力マイクロ波加熱後のX線回折パターン

B-p01

多層構造を用いた光駆動半導体スイッチの開発

福井大遠赤セ^A, 福井大工^B

高橋 雅人^A, 佐野 巴則^A, 西尾 英道^A, 石川 裕也^A, 藤井 裕^A, 光藤 誠太郎^{AB}

Development of photoactivated semiconductor switch by using multi-layer structure

FIR-Center, Univ. of Fukui^A, Sch. Eng. University of Fukui^B

M. Takahashi^A, T. Sano^A, H. Nishio^A, Y. Ishikawa^A, Y. Fujii^A and S. Mitsudo^{AB}

パルス電子スピン共鳴(Pulsed Electron Spin Resonance: Pulsed-ESR)は数十 ns 程度の強力な電磁波パルスを試料に照射し、電子スピンの動的過程を観測する測定手法である。我々は高周波(154 GHz)、高出力(150 W)の発振が可能な Gyrotron FU CW VIIB を光源に用いて Pulsed-ESR 装置の開発を行っている。Gyrotron FU CW VIIB は 20 ms のコヒーレントなパルス発振を行っており、Pulsed-ESR を行うには Si 板と Nd:YAG レーザーを用いた光駆動半導体スイッチを用いてそこから数 ns のパルスをいくつか切り出し、形成して Pulsed-ESR を行っている。[1]

光駆動半導体スイッチは Si 板にレーザーを当てることによって Si 板を絶縁体から金属に切り替えてシャッターの役割を果たし、数ナノ秒のパルスを生成することができる。現在、1 枚の Si 板に対してブリュースター角でビームを入射することで透過時の反射をおさえている。しかし、Si のブリュースター角は 73.7°と大きいためビームが楕円形上に広がりすぎてしまうという問題点がある。本研究では、2 枚の Si 板の干渉効果を利用して反射成分を打ち消すことによりブリュースター角に制限されない光駆動半導体スイッチの開発を行った。発表では 2 枚のシリコンの干渉効果について有限要素法解析ソフトである COMSOL を使いシミュレーションを行った結果(図1)や Si 板を用いた透過率測定とを比較して評価した結果について報告する。

[1]堂野孝暉: 2019 年度福井大学工学研究科修士論文

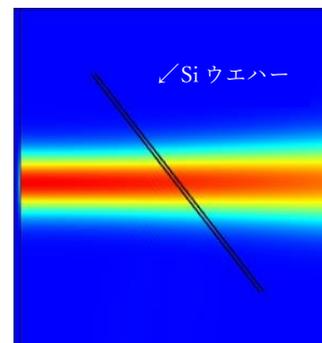


図1: 2 枚の Si 板を用いたシミュレーション(Si にガウシアンビームを左から入射)

B-p02

商用周波数対称多相交流放電における中性点電位のふるまい

金沢大理工

清 貴文, チャヒョンホ, 川端光輝, 安藤利得

Behavior of the neutral point potential of a power supply in a symmetric multiphase AC discharge at commercial frequencies.

Fac. of Sci and Eng., Kanazawa Univ.; Takafumi SEI, Hyeonho CHA, Mitsuki KAWABATA, Ritoku ANDO

多相交流放電に用いる電源は複数の位相をずらした交流電源を束ねて出力している。この一端は中性点と呼ばれる基準点にまとめられ、電源のもう片方は真空チャンバーに取り付けられた電極に接続されている(図1)。通常、この中性点は安全のためにアースに落とさず電氣的に浮かした状態で放電をおこなう。その場合、中性点の電位 (Φ_n) は放電後に自発的に決まる。通常はおよそ印加電圧の振幅だけ負になる。先行研究のシミュレーションから中性点とアースの間に抵抗をつけることで中性点電位が変化することが予想された。そこでこの自発的に決まっている中性点電位がどのように変化するか調べることにした。

まず中性点電位に抵抗(図1での R_{bias}) を付加する実験を行なった。観測の結果、 R_{bias} の値は小さいほど中性点電位 Φ_n は負に落ちにくいことがわかった。さらにプラズマとチャンバーの接触面積を変えてどのような影響があるか調べるために、チャンバー底にガラス板、チャンパー上には絶縁シートを設置した。その結果、接触面積が小さいほど中性点電位 Φ_n は負の電位に落ちにくいことを確認した。また中性点電位の変化に伴いプラズマ電位も変化し、プラズマに流れる電流波形も変化することが観測された。詳しい実験結果と考察は発表にて報告する。

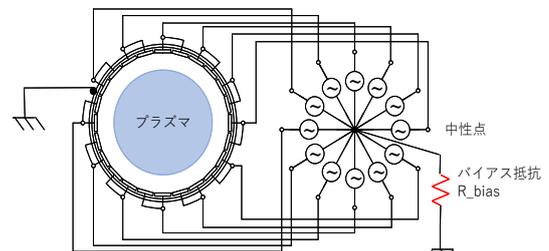


図1: 多相交流放電実験: 中性点電位とアースの間に抵抗を付加した

B-p03

対称多相交流放電において中性点に抵抗をつけた場合のシミュレーション

金沢大理工

チャヒョンホ, 清 貴文, 川端光輝, 安藤利得

Simulation of symmetric multiphase AC discharge with a resistance between the neutral point and ground.

Fac. of Sci and Eng., Kanazawa Univ.; Hyeonho CHA, Takafumi SEI, Mitsuki KAWABATA, Ritoku ANDO

実験より中性点に抵抗をつけることにより中性点電位の変化が観測された。それに伴いプラズマ電位も変化し、プラズマに流れる電流波形も変化することも観測された。そこでプラズマの挙動を調べるためにシミュレーションを行った。中性点に抵抗 R_{bias} を付加した等価回路に、チャンパーとプラズマの間に仮想抵抗 R_{gp} を追加した。 R_{gp} の値を変えた時の中性点電位 Φ_n とプラズマ電位 Φ_p の変化を観測した。シミュレーションの結果から次の2つのことが分かった。(1)電極電位 Φ_i がプラズマ電位 Φ_p より大きくなるタイミングで正の電流が流れること、(2)プラズマの整流作用によって整流された直流電圧が

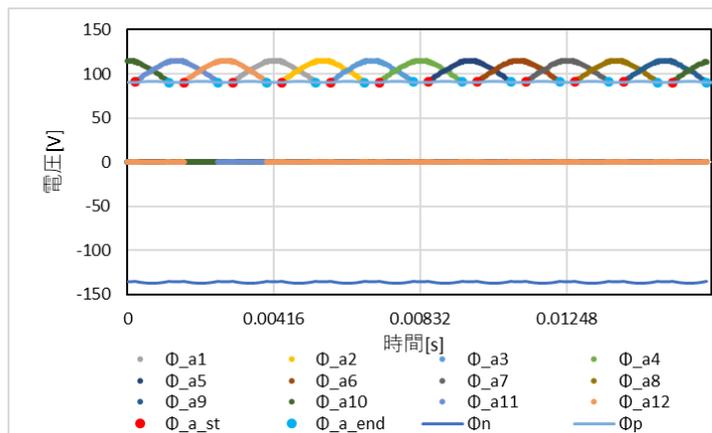


図1 $R_{bias}=100k\Omega$ と $R_{gp}=10M\Omega$ 時の放電シミュレーション結果

抵抗 R_{bias} と R_{gp} で分圧されて Φ_n と Φ_p を決定することが分かった。(1)と(2)の結果は中性点を操作することで正の電流の流れ始めを操作できる、さらにはプラズマに流れる電流を操作できるという重要な結果を意味している。今回はシミュレーションから得られた結果について報告する。

多相交流放電における電流電圧特性の近似曲線の再検討

金沢大理工

川端光輝、チャヒョンホ、清貴文、安藤利得

Reinvestigation of the fitting curve of current-voltage properties in multiphase AC discharge.

Fac. of Sci and Eng., Kanazawa University; Mitsuki Kawabata, Hyeonho Cha, Takahumi Sei, Ritoku Ando

本研究室では多相交流放電の等価回路モデルを提唱している。シミュレーションをおこなう際に、電流と電圧の関係式が必要であるため、先行研究では陰極部分の電流電圧特性を4次曲線で近似していた[1]。しかし真空放電の教科書には、 d を陰極暗部の厚さ、 μ_i を正イオンの移動度、 γ を γ 作用の係数とすると、電流 I と電圧 V の間には

$$I = (V^2 \mu_i (1 + \gamma)) / (\pi d^3)$$

の関係が成り立つという記述がある[2]。もし陰極暗部の厚さ d が V によって変化しないなら電流 I は V の2乗に比例する。そのため、電流電圧特性を電流の立ち上がり頂点とする2次曲線で近似してみた。今回は4次および2次での近似曲線の比較結果を示す。

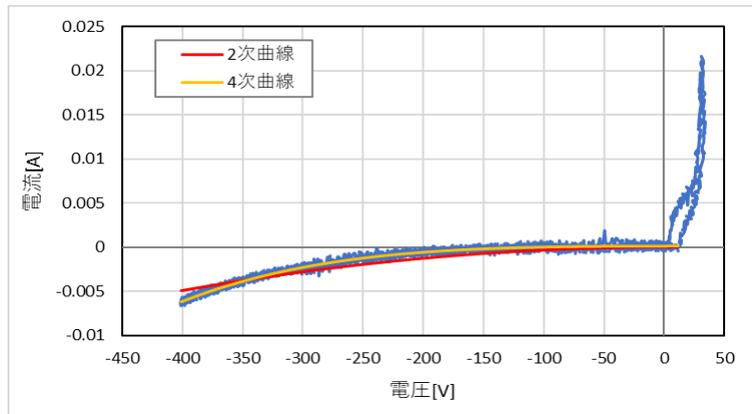


図1 電流電圧特性図の4次曲線、2次曲線での近似。
実験条件, 12相, $V_{op}=210$ V, $P=0.40$ Torr.

参考文献

[1] 矢野敦也 令和元年度卒業研究

[2] 武田進 著「気体放電の基礎 新訂版」東京電機大学出版局, p.93 (1989)

大電流パルス放電回路のギャップスイッチ並列化に対する放電電流波形の評価

富山大工、長岡技大^A、松山 隼、小口 拓哉、重田 宗明、竹崎 太智、佐々木 徹^A、伊藤 弘昭

Evaluation of the current flow for parallel gap-switched high-current pulse-discharge circuits

Fac. of Eng., Univ. of Toyama; Nagaoka Univ. of Tech.^AJ. Matsuyama, T. Oguchi, M. Sigeta, T. Takezaki, T. Sasaki^A, H. Ito

宇宙空間の高エネルギー粒子である宇宙線の生成起源として無衝突衝撃波が挙げられているが、詳細な粒子加速機構は不明瞭である。無衝突衝撃波での物理過程を理解するため、実験室で無衝突衝撃波を再現し、現象をその場計測する実験室宇宙物理が精力的に行われている。実験室で無衝突衝撃波を再現するためには、希薄ガス中で高速なプラズマ流を生成する必要がある。我々はプラズマフォーカス装置を用いて、パルスパワー放電により高速プラズマ流の生成を行っている[1, 2]。

プラズマフォーカス装置は、エネルギーを蓄積するための高耐圧コンデンサ、スイッチングのためのギャップスイッチ、そして放電負荷であるプラズマ生成電極で構成され、その等価回路はLCR放電回路とみなされる。プラズマフォーカス装置では放電で発生するローレンツ力によりプラズマを加速・圧縮することで高速プラズマ流を生成するため、放電電流の大電流化が要求される。しかし、ギャップスイッチの寄生インピーダンスが放電負荷と同程度であり、放電電流およびエネルギー効率が低下するという課題がある。

本研究では、パルス放電回路の寄生インピーダンス低減による放電電流およびエネルギー効率の向上を目的に、ギャップスイッチの並列スイッチングを行う。まず、複数のギャップスイッチを同時に駆動するためのパルスジェネレータの開発を行った。大電流パルス放電回路のギャップスイッチの並列化と放電試験を行い、放電電流波形の評価から、ギャップスイッチ並列化による放電電流波形および投入エネルギーの変化を報告する。

[1] T. Takezaki, *et al.*, Phys. Plasmas **23**, 062904 (2016).[2] T. Takezaki, *et al.*, Phys. Plasmas **28**, 102109 (2021).

層流型大気圧プラズマジェットの影響電界方向による特性評価

富山大工 松井 大真, 伊藤 弘昭, 竹崎 太智

Evaluation of laminar atmospheric pressure plasma jet by applied electric field directions

Fac. of Eng., Toyama Univ. H. Matsui, H. Ito, T. Takezaki

大気圧プラズマジェットは、大気圧下でガス温度が室温程度のプラズマを生成することが可能である。特徴は、照射対象物に熱ダメージを与えないことと反応性が高いことであり、表面改質やエッチング、医療分野などに応用されている。応用分野に応じたイオン種、活性種が必要となり、本研究ではそれらの発生量の増加を目的として二重同軸管構造の層流型大気圧プラズマジェットの装置を開発してきた。本発表では、層流型大気圧プラズマジェット装置の影響電界方向の違いによるプラズマジェットの特性評価を行った。

プラズマジェット装置はガスの流れに対して平行に電界をかけた軸方向構造とガスの流れに対し垂直に電界をかけた径方向構造を用いた。また、ガスを単層で流した単管型とガスを層流で流した二重管型がある。電源には、電圧 8kV、周波数 20kHz の正弦波を使用し、主ガスにはヘリウムガスを 5L/min、層流ガスには、酸素ガスを 2L/min 流した。液体有機物分解実験にはインディゴカルミン溶液を用いた。

照射時間に対するインディゴカルミン溶液の濃度変化を図に示す。軸方向、径方向ともに単管構造と比べ、二重管構造の方が分解量は多く、径方向と軸方向を比較すると径方向の方が分解量は多くなった。このことからインディゴカルミンの分解に必要なオゾンが単管と二重管の比較では、二重管の方が多く発生しており、電界方向の比較では径方向の方が多く発生している。詳細な実験結果と考察については発表にて報告する。

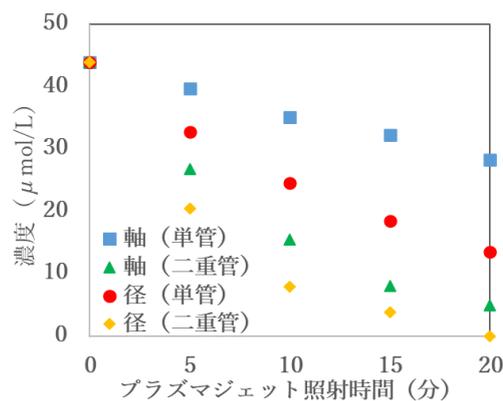


図 濃度の時間変化

C-a01

直方晶 $R_2Pt_9Al_{16}$ ($R = Pr, Nd, Sm$)の育成

富山大理, 富山大院理^A, 原子力機構先端セ^B
三井崇弘, 太田玖吾^A, 渡部悠貴^A, 芳賀芳範^B, 松本裕司^A

Crystal growth of orthorhombic $R_2Pt_9Al_{16}$ ($R = Pr, Nd, Sm$)

Sch. of Sci. Univ. of Toyama, ^AGrad. Sch. of Sci. Univ. of Toyama, ^BJAEA ASRC

T. Mitsui, K. Ota^A, Y. Watabe^A, Y. Haga^B, and Y. Matsumoto^A

希土類間化合物 $R_2Pt_9Al_{16}$ (R :希土類)の結晶構造は直方晶 $Immm$ (空間群:71) $Ce_2Pt_9Al_{16}$ 型構造をとり、これまでに $R = La, Ce$ の2つ物質が発見されている[1, 2]。 R サイトは6個の Pt と10個の Al の六角柱に取り囲まれており、籠状物質の可能性もある[2]。 $Ce_2Pt_9Al_{16}$ は $T_N = 2.4$ K の反強磁性体であり、 T_N 以下の 1.2, 0.8 K においても磁気転移が報告されている。我々は、これまでに報告のない $R_2Pt_9Al_{16}$ 系の $R = Ce$ 以降の希土類の物質探索を行うとともに、この系において籠状物質に由来する物性が発現するのかどうかに着目して $R = Pr, Nd, Sm$ 新物質探索を行った。

$R_2Pt_9Al_{16}$ ($R = La, Ce, Pr, Nd, Sm$)の結晶育成はアーク溶解法、試料評価は粉末 X 線回折、単結晶 X 線回折による結晶構造解析、EPMA による組成分析を行った。磁化測定は引き抜き法で行った。

試料評価の結果、育成したすべての物質について期待した $Ce_2Pt_9Al_{16}$ 型構造をとる物質ができたことを確認した。リートベルト解析[3]により $R = La, Ce, Pr, Nd, Sm$ の格子体積 V を求めた。 V はランタノイド収縮に従う傾向にあることが解った。 $La_2Pt_9Al_{16}$ は単相の試料で、不純物として Pt_2Al_3 が $R = Ce, Pr, Nd, Sm$ において、 RPt_3Al_5 が $R = Ce, Nd, Sm$ において存在した。講演では、 $Pr_2Pt_9Al_{16}$ の磁化測定の結果も合わせて報告する。
[参考文献]

C-a02

単結晶 X 線回折と XAFS 測定を用いた $Ce_2Pt_6X_{15}$ ($X = Al, Si$)の構造解析

富大院理^A, 原子力機構先端セ^B, あいち SR^C 渡部悠貴^A, 太田玖吾^A, 芳賀芳範^B,
畑田圭介^A, Iesari Fabio^C, 岡島敏浩^C, 松本裕司^A

Structural analysis of $Ce_2Pt_6X_{15}$ ($X = Al, Si$) by single crystal X-ray diffraction and XAFS measurements

^AUniv. of Toyama, ^BJAEA ASRC, ^CAichi SR Y. Watabe^A, K. Ota^A, Y. Haga^B, K. Hatada^A, F. Iesari^C, T. Okajima^C,
Y. Matsumoto^A

$R_2T_6X_{15}$ (R :希土類, T :遷移金属, X :Al, Si)は、空間群 194 の六方晶 $Sc_{0.6}Fe_2Si_{4.9}$ 型として構造が解かれている。この構造は R_2X_3 層と TX_2 層が積層した構造をしており、 R_2X_3 層の R と X にそれぞれ欠陥をもつ。しかし、散漫散乱が観測されたことによって、積層不整が存在し、希土類がハニカム構造を持つように秩序する可能性があることが提唱されている[1]。また、 $Ce_2Pt_6Al_{15}$ の Al の一部を Si に置換することで基底状態を変化させ、興味深い量子臨界現象が発現することが期待されている。

本研究の目的は、 $R_2T_6X_{15}$ (X :Al, Si)の結晶構造を明らかにすることである。これまでのこの系の研究では単結晶 X 線回折実験が用いられてきた。今回は $Ce_2Pt_6Al_{15}$ と $Ce_2Pt_6Al_{12}Si_3$ の単結晶 X 線回折実験とともに、XAFS スペクトルを測定・解析することで実空間における原子間距離を出し、これら物質の結晶構造を決定した。

単結晶 X 線回折実験の結果、 $Ce_2Pt_6Al_{15}$ と $Ce_2Pt_6Al_{12}Si_3$ は六方晶 $Sc_{0.6}Fe_2Si_{4.9}$ 型構造でよく解けた。また、 $Ce_2Pt_6Al_{15}$ の Si を置換した結晶構造変化は、 $U_2Pt_6Al_{15}$ の変化[2]と同様の傾向であった。 $Ce_2Pt_6Al_{15}$ と $Ce_2Pt_6Al_{12}Si_3$ の XAFS のスペクトルの測定は、あいち SR の BL11S2 で、Ce の L 端 (L_3 :5,723eV, L_2 :6,164eV) と Pt の L 端 (L_3 :11,563eV)に対して透過法で行った。EXAFS 振動の解析の結果、 $Sc_{0.6}Fe_2Si_{4.9}$ 型を空間群 63 の直方晶型に取り直し R_2X_3 層の R をハニカムに秩序させた構造[3]でよく合うことが分かった。これらの結果は、Ce がハニカム構造を成している可能性が高いことを示唆している。

[1] G. H. Kwei *et al.*, Acta Cryst. B52, 580 (1996). [2] 芳賀芳範 他, 日本物理学会第 76 回年次大会, PSH-48 (2021). [3] Y. Lutsyshyn *et al.*, Chem. Met. Alloys 2, 75-82 (2009).

C-a03

ハニカム構造を持つ $\text{Ce}_2\text{Pt}_6\text{Al}_{15}$ と $\text{Ce}_2\text{Pt}_6\text{Al}_{12}\text{Si}_3$ の磁性

富山大院理, 富山大理^A, 原子力機構先端セ^B, あいち SR^C

太田玖吾, 渡部悠貴, 三井崇弘^A, 芳賀芳範^B, 畑田圭介, Iesari Fabio^C, 岡島敏浩^C, 松本裕司

Magnetic properties of $\text{Ce}_2\text{Pt}_6\text{Al}_{15}$ and $\text{Ce}_2\text{Pt}_6\text{Al}_{12}\text{Si}_3$ with honeycomb structure

Univ. of Toyama, ^AJAEA ASRC, ^BAichi Synchrotron Radiation Center

K. Ota, Y. Watabe, T. Mitsui, Y. Haga^A, K. Hatada, I. Fabio^B, T. Okajima^B, and Y. Matsumoto

希土類間化合物 $R_2T_6X_{15}$ (R :希土類金属, T :遷移金属, $X = \text{Al, Ga, Si}$)の結晶構造は単斜晶 $\text{Sc}_2\text{Pt}_6\text{Al}_{15}$ 型構造で解いた場合、 R はハニカム構造をとる[1]。本研究の対象物質である $\text{Ce}_2\text{Pt}_6\text{Al}_{15}$ はこれまでに 2.6 K で反強磁性秩序を起こすもの[2]と磁気秩序を起こさないもの[3, 4]の報告がある。また、4 元化合物 $R_2T_6\text{Al}_{12}\text{Si}_3$ [5, 6]の報告がある。我々は、 $\text{Ce}_2\text{Pt}_6\text{Al}_{15}$ の基底状態を明らかにすること、 $\text{Ce}_2\text{Pt}_6\text{Al}_{12}\text{Si}_3$ が $\text{Ce}_2\text{Pt}_6\text{Al}_{15}$ とは異なる基底状態を持つかどうかに着目し結晶育成及び磁化測定を行った。

試料育成はアーク溶解法、試料評価は粉末 X 線回折による結晶構造解析、EPMA による組成分析を行った。試料評価の結果、 $\text{Ce}_2\text{Pt}_6\text{Al}_{15}$ と $\text{Ce}_2\text{Pt}_6\text{Al}_{12}\text{Si}_3$ が育成できていること、 $\text{Ce}_2\text{Pt}_6\text{Al}_{15}$ に不純物の反強磁性体 $\text{Ce}_2\text{Pt}_9\text{Al}_{16}$ が微量に含まれていることが分かった。 $\text{Ce}_2\text{Pt}_6\text{Al}_{15}$ と $\text{Ce}_2\text{Pt}_6\text{Al}_{12}\text{Si}_3$ の磁化率を測定し、さらに Ce の価数を決定するため XANES スペクトルを測定した。

$\text{Ce}_2\text{Pt}_6\text{Al}_{15}$ と $\text{Ce}_2\text{Pt}_6\text{Al}_{12}\text{Si}_3$ の磁化率は高温で Curie-Weiss 則に従い、XANES スペクトルの解析で得られた Ce の価数と同様に Ce^{3+} の常磁性の振る舞いが観測された。 $\text{Ce}_2\text{Pt}_6\text{Al}_{15}$ の磁化率は 50 K 付近で山を持ち、不純物の影響を差し引くと低温で一定となることから非磁性の重い電子系物質の振る舞いをしていることが分かった。一方、 $\text{Ce}_2\text{Pt}_6\text{Al}_{12}\text{Si}_3$ は、2 K まで秩序せず、磁化率は常磁性的に上昇し続けた。つまり $\text{Ce}_2\text{Pt}_6\text{Al}_{12}\text{Si}_3$ が $\text{Ce}_2\text{Pt}_6\text{Al}_{15}$ の基底状態とは異なる基底状態を持つことが分かった。

C-a04

希土類三元化合物 CeFeSi の単結晶作製と物性

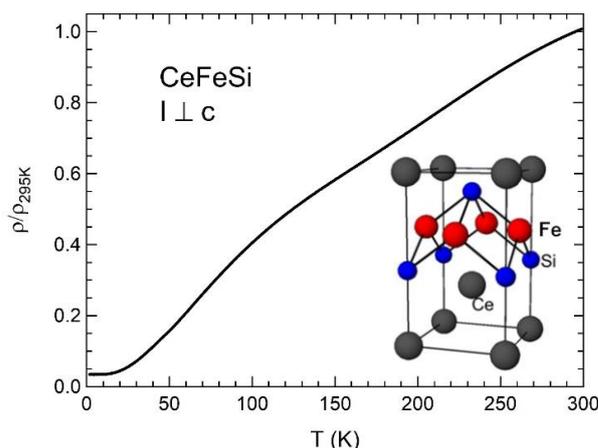
富山県立大 浦瑠希, 谷田博司

Single Crystal Growth and Physical Properties of CeFeSi

Toyama Prefectural University R. Ura, and H. Tanida

希土類三元化合物 RTX (R =希土類, T =遷移金属, X =非金属元素) は、多様な構造を取り、多様な物性を示す。[1] 例えば $T=\text{Mn, Fe, Co}$, $X=\text{Si}$ の場合には、正方晶 CeFeSi 型構造 ($P4/nmm, D_{4h}, \#129$) 示す。 LaCoSi は水素吸蔵やアンモニア合成触媒としても知られる。[2] この構造の特徴は、①各原子位置での局所空間反転対称性は「奇」だが、構造全体としての空間反転対称性は「偶」であること、②非共型空間群であるために単位胞内に 2 分子を含むことにある。低温の物性にはこれらの特徴が顕れていると考えられ、 $T=\text{Mn, Co}$ の系における $R=\text{Ce}$ の磁性を中心に、現在、盛んに研究が進められている。[3,4] 一方、 $T=\text{Fe}$ の系では、特に CeFeSi では Ce も Fe も非磁性との報告があるが[5]、詳しい物性は明らかにされていない。

ごく最近、我々は CeFeSi の単結晶合成に成功した。図に電気抵抗率の温度依存性を示す。金属的減少を示すが、中間温度領域では特有の肩構造がみられる。詳細は当日報告する。



図： CeFeSi の電気抵抗率の温度依存性と結晶構造

[1] S. Gupta and L. G. Suresh, JALCOM **618**, 562 (2015).

[3] H. Tanida et al., JPSJ **88**, 054716 (2019).

[5] R. Welter et al., JALCOM **189**, 49 (1992).

[2] Y. Gong et al., Nature Catalysis **1**, 178 (2018).

[4] H. Tanida et al., JPSJ **91**, 013704 (2022).

C-a05

RNiGe₂(R:希土類)の単結晶育成

金沢大 自然科学研究科 石渡 光生, 井田 啓介, 大橋 政司

Single crystal growth of RNiGe₂ (R:rare earth) compounds

Natural Science and Technology, Kanazawa Univ. K. Ishiwatari, K. Ida, M Ohashi

RTX₂(R:希土類, T:遷移金属, X:Si,Ge)は斜方晶系の結晶構造を持ち, 空間群はCmcmである. 多結晶に関しては, CeTGe₂(T:Fe,Co,Ni,Cu)をはじめとして研究例があり[1], 遷移金属(T)を欠損させることにより単結晶が得られているようである. 我々はこれらについて単結晶の育成に取り組んでいる.

初めに, アーク溶解法により, 多結晶試料を作成した. CeT_xGe₂ (T=Mn, Fe, Cu, x<1)に関しては, CeGe_{1.66}が形成され, またCeT_xSi₂ (T=V, Cr, Mn, Fe, Cu)もCeSi₂二次相を形成しており, 単相成長させることは困難であった. 一方, PrNi_xGe₂は単相の試料が得られた. そこで, PrNi_xGe₂の単結晶をチョクラスキー法により成長させた. 右の図にPPMSを用いて測されたPrNi_xGe₂(x=0.6,0.8,1.0)の低温での比熱を示す. 14Kで相転移を示す比熱の異常が観測されており, その振る舞いはNiの組成に影響を受けない.

一方, 磁化測定により, この相転移は強磁性相転移であることが分かった. 逆帯磁率のデータより得られた有効ボーア磁子数の値は, Niの組成により違いがなく, Pr³⁺の有効ボーア磁子数である3.58[μ_B]に近い. また, 5Kで観測された飽和磁化は, x=1.0の試料よりもx=0.8の試料の方が予測されるPr³⁺の飽和磁化に近い.

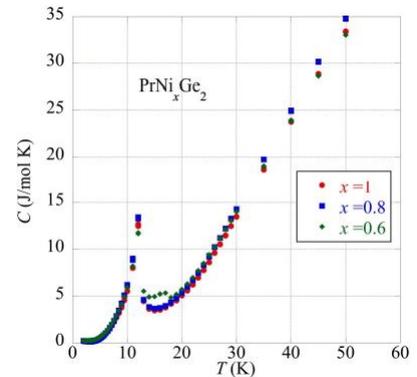


図:PrNi_xGe₂の比熱

[1] C.N.R. Rao. Solid State Communications, 83 765 (1992).

C-a06

ペロブスカイト型強磁性体 La_{0.6}Ca_{0.4}MnO₃における磁気特性と結晶成長の相関性

金沢大学 自然科学研究科

井田 啓介, 石渡 光生, 大橋 政司

Correlation Between Magnetic Properties and Crystal Growth in Perovskite Type La_{0.6}Ca_{0.4}MnO₃ Ferromagnet

Graduate School of Natural Science and Technology, Kanazawa Univ. K. Ida, I. Kousei, M. Ohashi

強磁性体を示すペロブスカイト型マンガン酸化物は大きな磁気熱量効果が観測されており, キュリー温度の制御が容易であることから, 幅広い温度範囲での応用が期待されます[1]. その物性は組成や粒径など多くのパラメータに依存します[2]. 本講演ではペロブスカイト型 La_{0.6}Ca_{0.4}MnO₃の磁気特性, 熱的特性について研究した結果を報告します. 資料は様々な条件(焼成時間, 焼成温度)下で, 焼結法にて作成しました. X線回折パターンは斜方晶系の空間群Pnmaに分類でき, これまでの報告とよく一致しています[3]. 温度, 焼成時間によるX線パターンに違いはほとんど見られず, X線パターンから計算した格子定数は誤差の範囲内で焼成条件の違いに依存しないことが確認されました. SEM分析から得られた粒子径は0.71から20 μmと焼成温度の上昇とともに大きくなる傾向がありました. La_{0.6}Ca_{0.4}MnO₃の比熱は, キュリー温度T_Cで不連続ΔCを示しました. 図は各焼成温度で作成した試料の比熱を表します. 焼結温度の上昇に伴いT_Cは減少し, ΔCは増加する傾向がありました. この傾向は, 磁気測定から得られた磁気熱量効果と一致し, 磁気エントロピー変化量ΔS(T)曲線は焼結温度の上昇に伴い高温側にシフトする傾向があるが, 最大値ΔS_Mは減少していました.

[1] M. H. Phan, and S. C. Yu, J Magn Magn Mater 306 (2007) 325

[2] K. A. Gschneider Jr, V. K. Pecharsky, and A. O. Tsokol, Rep Prog Phys 68 (2005) 1479.

[3] P. R. Sagdeo, S. Anwar, and N. P. Lalla, Powder Diffraction, 21 (2006) 40.

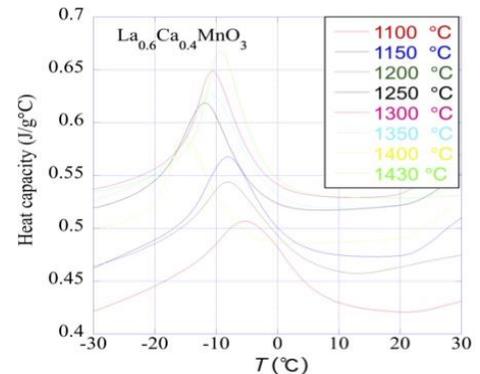


図: La_{0.6}Ca_{0.4}MnO₃の焼結体における比熱

C-a07

Ni-Mn-In ホイスラー合金の合成と磁気特性

金沢大学大学院自然科学研究科 永田 一貴, 石渡 光生, 井田 啓介, 大橋 政司

Synthesis and their magnetic properties of Ni-Mn-In Heusler alloys

Graduate School of Natural Science and Technology Kanazawa Univ K. Nagata, K. Ishiwartari, K. Ida M Ohashi

$\text{Ni}_{50}\text{Mn}_{25}\text{X}_{25}$ ($\text{X}=\text{Ga}, \text{Al}, \text{In}$) は強磁性形状記憶合金として良く研究されている。 $\text{Ni}_{50}\text{Mn}_{25}\text{In}_{25}$ は L21 構造を持ち、キュリー温度が $T_c=290\sim 310\text{K}$ の強磁性体である。これら及び組成比の異なる様々な物質群について、これまでに多くの研究例が報告されている。Ni の組成比を固定した $\text{Ni}_{50}\text{Mn}_{25+x}\text{In}_{25-x}$ ($x=0\sim 20$) では、 x を増やすと T_c が上昇し、 $x=20$ では $T_c\sim 800\text{K}$ となった。また、 $x=9$ ではマルテンサイト変態が 264K で起こるようになり、 $x=20$ まで増やすと 760K まで上昇した[1]。一方で、Mn の組成比を固定した $\text{Ni}_{50+x}\text{Mn}_{25}\text{In}_{25-x}$ ($x=0\sim 10$) で作製し、キュリー点を調べた結果、 x を増やすと T_c が減少し、 $x=5$ では $T_c\sim 265\text{K}$ となった[2]。本研究では $\text{Ni}_{50-x}\text{Mn}_{25}\text{In}_{25+x}$ を作成して磁気特性を調べる事にした。

まず始めに、Ni, Mn, In の組成比を変えて複数秤量し、アーク溶解法で試料作成を行った。試料の同定は粉末 X 線回折により行った。次に、DSC 測定や磁気測定により磁性や相転移の有無を調べた。

これまでに $\text{Ni}_{50-x}\text{Mn}_{25}\text{In}_{25+x}$ ($x=5, 10, 15, 20$) について調べ、結晶構造は全て L21 構造であった。また室温以上の高温では相転移は観測されなかった。今後は低温での磁化測定を試みる予定である。

[1] Thorsten Krenke, Mehmet Acet, Eberhard F. Wassermann, Xavier Moya, Lluís Mañosa, and Antoni Planes, Phys. Rev. B, 73, 174413, (2006)

[2] Xinzeng Liang, Jing Bai, Jianglong Gu, Jinlong Wang, Haile Yan, Yudong Zhang, Claude Esling, Xiang Zhao, Ling Zuo, Acta Materialia, 195, 109-122, (2020)

C-a08

$\text{Ho}_{1-x}\text{R}_x\text{B}_2$ ($\text{R}=\text{Gd}, \text{Tb}, \text{Nd}$) の磁気熱量特性

富山大院理工

吉永 翔真, 並木 孝洋, 西村 克彦

Magnetocaloric properties of $\text{Ho}_{1-x}\text{R}_x\text{B}_2$ ($\text{R}=\text{Gd}, \text{Tb}, \text{Nd}$)

Grad. Sch. of Sci. and Eng. for Edu., Univ. of Toyama S. Yosinaga, T. Namiki, K. Nishimura

HoB_2 は AlB_2 型構造 ($\text{P6}/\text{mmm}$) であり、強磁性転移温度 ($T_c=15\text{K}$) 近傍において、 $0\sim 5\text{T}$ の磁場変化では 40.1 ($\text{J kg}^{-1} \text{K}^{-1}$) と非常に大きな $|\Delta S_M|$ を示すことが報告されている[1]。 $\text{Ho}_{1-x}\text{Dy}_x\text{B}_2$ は置換量に応じて $|\Delta S_M|$ が減少する一方で、 T_c が上昇することが確認されている[2]。今回報告例の少ない $\text{Ho}_{1-x}\text{R}_x\text{B}_2$ ($\text{R}=\text{Gd}, \text{Tb}, \text{Nd}$) を作製し、その磁気熱量特性について研究を行った。

アーク溶解で試料を作製し、粉末 X 線回折測定を行い目的の試料が得られたことを確認した。その後、磁化測定を行った。

磁化の温度微分の温度依存性より求めた $\text{Ho}_{1-x}\text{R}_x\text{B}_2$ ($\text{R}=\text{Gd}, \text{Tb}$) の T_c は、 x の増加に伴って直線的に増加した。 $\text{Ho}_{1-x}\text{Nd}_x\text{B}_2$ の T_c は変化しなかった。右図は、 $\text{Ho}_{1-x}\text{R}_x\text{B}_2$ ($\text{R}=\text{Gd}, \text{Tb}$) の磁化の温度依存性よりマクスウェルの関係式を用いて求めた $0\sim 5\text{T}$ の磁場変化における $|\Delta S_M|$ の温度依存性のグラフである。 x が增大すると $|\Delta S_M^{\text{MAX}}|$ は減少したが、 $|\Delta S_M^{\text{MAX}}|$ と半値幅 ΔT_{FWHM} の積で求められる Relative Cooling Power (RCP) は $\text{Ho}_{0.8}\text{Gd}_{0.2}\text{B}_2$ の 745 (J/kg) が最大となった。 $|\Delta S_M^{\text{MAX}}|$ は減少したが、 T_c と RCP が增大するためより高温で作用することが分かった。

[1] Pedro Baptista de Castro et al., NPG Asia Mater., 12, 35 (2020)

[2] Pedro Baptista de Castro et al., Sci. Technol. Adv. Mater., 21, 849 (2020)

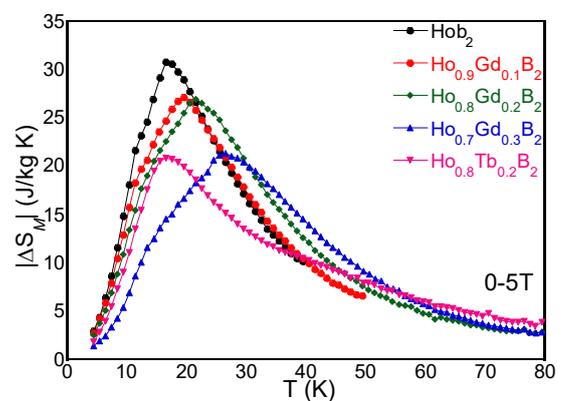


図. $|\Delta S_M^{\text{MAX}}|$ の温度依存性

HoAl₂における磁気特性に及ぼす B 置換の効果

富山大院理工 藤本 智大, 並木 孝洋, 西村 克彦

B substitution effect on magnetic properties of HoAl₂

Grad. Sch. of Sci. and Eng. for Edu., Univ. of Toyama T. Fujimoto, T. Namiki, K. Nishimura

近年、水素液化の効率的な方法として、磁性材料を用いた磁気冷凍が広く研究されている。その中でも、HoB₂は 15 K で強磁性を示し、キュリー温度(T_C)近傍で $40.1 \text{ J kg}^{-1} \text{ K}^{-1}$ という大きな磁気エントロピー変化 $|\Delta S_M(\mu_0 H: 5 \text{ T} \rightarrow 0 \text{ T})|$ を示すことが知られている[1]。さらに、先行研究では、HoB₂の B を Al で置換すると HoB₂ と $T_C = 32 \text{ K}$ を示す HoAl₂ の二相に分離し、低 Al 置換量の試料で HoAl₂ の転移温度が 41 K に上昇することが報告されている[2]。過去に、ErCo₂ や DyCo₂ で少量の B 置換を行うと T_C が増加した例があり、先行研究での上昇も同様の効果によるものと考察されている[3,4]。そこで、HoAl₂ に B 元素を置換することで同様な現象の観測が期待されるが、これまで実際に HoAl₂ に B を置換した研究例はない。そこで今回は HoAl_{2-x}B_x ($x \leq 0.5$) を作成し、B 置換量と T_C 、格子定数の関係を調べた。

試料はアーク溶解にて行った。結晶構造の評価は粉末 X 線回折法を用いて行い、すべての試料で HoAl₂ のパターンを観測した。また、 $x \geq 0.2$ の試料では HoB₂ のパターンを観測した。作成した試料を用いて、磁化測定および、比熱測定を行い、転移温度を算出した。

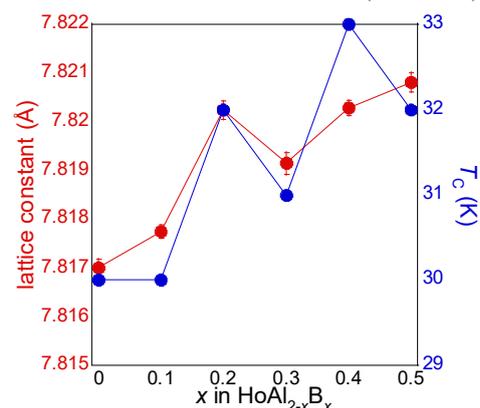
右図は B 置換量、格子定数及び T_C の関係である。B 置換量が増加すると、格子定数は増加傾向を示した。転移温度も B 置換量に伴い増加傾向を示したが、転移温度 41 K までは上昇しなかった。当日は他の物性値も報告する予定である。

[1] P.B. Castro *et al.*: NPG Asia Mater. 12 (2020) 35.

[2] S. Iwasaki *et al.*: Solid State Commun. 324 (2022) 114616.

[3] Y. Araki, M. Ohashi, J. Phys.: Conf. Ser. 400 (2012), 032005.

[4] C.L. Wang *et al.*: J. Magn. Magn Mater. 405 (2016) 122.



B 置換量と格子定数、転移温度の関係

T_Cが増大した 1T''-NbTe₂ の極低温物性と単結晶育成金沢大物理, 金沢大保健^A, 金沢大総合技術^B 牧野隼士, 岡本博之^A, 島村一利^B, 吉田靖雄Cryogenic properties of 1T''-NbTe₂ with increased T_C and single crystal growthDept. of Phys. Kanazawa Univ., ^A Dept. of Health. Kanazawa Univ., ^B Tech Supp. Kanazawa Univ.H. Makino, H. Okamoto^A, K. Shimamura^B, Y. Yoshida

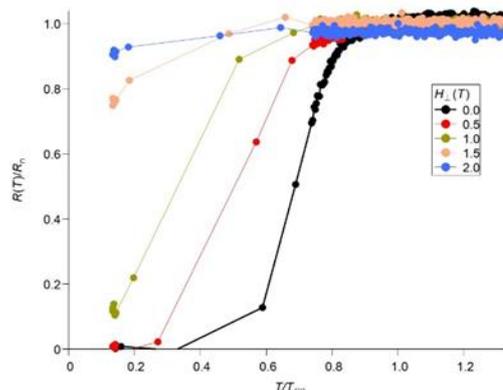
遷移金属ダイカルコゲナイド(TMDs)は約 60 種類のうち 3 分の 2 が層状構造を有しており[1]、その高い 2 次元性に起因した特異な超伝導特性を示すことが報告されている[2]。TMDs の 1 つである 2H-NbSe₂ の研究は数多く行われているが、T_C が 0.7 K の 1T''-NbTe₂ の研究は比較的少ない。

我々はこの 1T''-NbTe₂ に注目し、極低温での電気抵抗測定を行った。図 1 に示すように、文献値より 3 倍近く高い 3.0 K 付近から超伝導転移を示唆する電気抵抗の急激な減少が見られ、臨界磁場 30 mT より遥かに高い 2 T まで電気抵抗の折れ曲がりが見られた。この振る舞いは測定した全ての結晶で見られ、この T_C 増大の原因を突きとめるため更なる研究を行っているが、現在のところ解明には至っていない。

そこで今回は、我々が 1T''-NbTe₂ の試料作成に用いているヨウ素を輸送剤とした化学蒸気輸送(CVT)法での結晶成長の段階で、T_C を増大させる原因が発生したのではないかと考え、組成比やヨウ素の添加量を少しずつ変化させた 1T''-NbTe₂ の単結晶育成を試みた。得られた単結晶の評価は X 線構造解析、EDX による元素分析により行った。また、それぞれの結晶について極低温での物性測定を行い比較した。当日は、この詳細について発表し議論を行う。

[1] J. A. Wilson and A. D. Yoffe, Adv. Phys., 18, 193 (1969)

[2] Z. Wang *et al.*, ACS Nano. 12, 12619-12628 (2018) た。

図: T_Cが増大した単結晶 1T''-NbTe₂ の電気抵抗磁場依存性(T_{C0}=3.0 K)

C-p03

$S=1/2$ 低次元反強磁性体 henmilite の NMR

福井大遠赤セ, 東北大多元研^A

倉知 豊, 林 哉汰, 丸山 薫, 石川 裕也, 山本 孟^A, 藤井 裕

NMR study of $S=1/2$ low-dimensional antiferromagnet henmilite

FIR-Center, University of Fukui;

IMRAM, Tohoku University^A

Y. Kurachi, K. Hayashi, K. Maruyama, Y. Ishikawa, H. Yamamoto^A, Y. Fujii

$\text{Ca}_2\text{Cu}(\text{OH})_4[\text{B}(\text{OH})_4]_2$ (鉱物名 henmilite) は、岡山県布賀鉱山でのみ産出する天然鉱物である [1]。henmilite の結晶内では、 $\text{Cu}(\text{OH})_4$ 同士の水素結合を介してネットワークを形成し、Cu イオン ($S = 1/2$) の歪んだ正方格子を形成している。henmilite の磁化率や比熱の測定からスピン間相互作用が低次元であることが示唆されるとともに、 $B//b^*$ 軸において、 $B = 0 \text{ T}$ では $T_N = 0.2 \text{ K}$ 、 $B = 3 \text{ T}$ では $T_N = 0.8 \text{ K}$ で反強磁性転移が観測された [2]。このように磁場-温度の磁気相図にはドーム状の反強磁性秩序領域が存在する。また数値計算(DFT)から、歪んだ正方形格子面内の交換結合の強さは $J_i/k_B = 0.9 \sim 3.6 \text{ K}$ と見積もられている [2]。これまでに我々は henmilite の単結晶試料を用いて、最低 2 K までの温度領域において 10 ~ 300 GHz での電子スピン共鳴(ESR)測定を行ってきた。高周波においては相互作用よりもはるかに高い 20 K 程度以下で多数の共鳴線分裂が観測されたが、その起源の詳細は不明である。我々は今回、ESR 共鳴線分裂の起源を調べるため、外部磁場 2.1 T と 4.2 T において 1.7 K ~ 50 K の温度領域で ^{11}B の核磁気共鳴(NMR)測定を行った。 ^{11}B ($I = 3/2$) の四重極分裂は温度変化せず、結晶構造の変化は見られなかった。

[1] I. Nakai *et al.*, *American Mineralogist* **71**, 1234 (1986).

[2] H. Yamamoto *et al.*, *Phys. Rev. Materials* **5**, 104405 (2021).

C-p04

17 T までの磁場中における角度分解電子輸送特性測定装置の開発

金沢大物理, 金沢大総合技術^A

下川 貴也, 輪島 裕樹, 島村 一利^A, 阿部 聡, 吉田 靖雄

Development of angle-resolved transport measurement system in magnetic fields up to 17T

Dept. of Phys. Kanazawa Univ., ^ATech Supp. Kanazawa Univ.

T. Shimokawa, H. Wajima, ^AK. Shimamura, S. Abe, Y. Yoshida

$\text{Ba}(\text{Fe}_{1-x}\text{Co}_x)_2\text{As}_2$ や FeSe などの鉄系超伝導を中心に現れる電子ネマティック状態では、超伝導転移より高温側から現れることが知られており [1]、超伝導発現機構との関与が議論されている。そこで我々はこのような電子ネマティック状態を詳しく観察するために、 0.04° 間隔程度の高い角度分解能を持つ、ピエゾ駆動型回転機構を搭載した角度分解電子輸送特性測定装置 (図 1) を開発した。従来のメカニカルなローターと比べ、ピエゾ駆動型は高い分解能を持ち、さらに熱の発生が小さいことから超低温までの測定が可能となる。この装置を超伝導マグネットと温度可変型冷凍機に導入することで、17 T までの高磁場、1.5 K から室温までの温度域での測定が可能となっている。試料をセットするチップキャリアを工夫することで幅広い物性測定への応用も可能となる。本発表では、開発した装置の詳細と本装置を用いて測定した、磁場と電流の角度に対しサインカーブの依存性を示す面内ホール効果 (PHE) を持つ Co 薄膜と、面直方向と面内方向の臨界磁場が異なる 2 次元物質の 2H-NbSe_2 の角度分解電子輸送特性の結果をもとに装置の詳細について報告する。

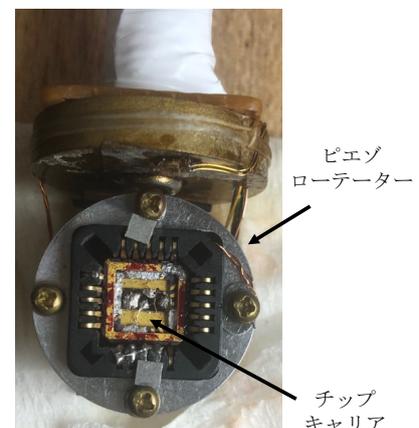


図1 角度分解電子輸送特性測定装置

[1] S. Kasahara *et al.*, *Nature*. 486 12619-12628 (2012)

C-p05

高出力光源コンパクトジャイロトロンを用いた磁化検出型多周波 ESR 装置の開発

¹福井大遠赤セ・²神戸大分子フォトセ・³神戸大院理・⁴福井大工

伊藤 丈朗¹, 石川 裕也¹, 高橋 英幸², 林 哉汰¹, 増田 祥大³, 廣澤 康平¹, 浅野 貴行⁴, 藤井 裕¹, 大道 英二³, 太田 仁^{2,3}, 光藤 誠太郎⁴

Development of a magnetization-detecting multi-frequency ESR apparatus using a high-power light source Compact Gyrotron

¹Research Center for Development of Far-Infrared Region, Univ. of Fukui, ²Molecular Photoscience Research Center, Kobe Univ.,

³Graduate School of Science, Kobe Univ., ⁴Department of Applied Physics, Univ. of Fukui

T. Ito¹, Y. Ishikawa¹, H. Takahashi², K. Hayashi¹, S. Masuda³, K. Hirozawa¹, T. Asano⁴, Y. Fujii¹, E. Ohmichi³, H. Ohta^{2,3}, S. Mitsudo⁴

電子スピン共鳴 (ESR) は様々な試料の異方性やその磁性に関する有用な情報を得られるため、科学分野において広く利用されている。ESR は使用する光源の高周波化に伴い高分解能化し、その測定感度は使用する光源の出力に大きく依存する[1]。ジャイロトロン光源は高出力及び高周波発振が可能であり、これまでに透過型の ESR 装置開発が行われてきた[2]。しかし、その強力な発振出力のため生じるバックグラウンドノイズにより高感度化が困難であった。近年、メンブレンを用いた力検出型磁気共鳴システムの開発により高出力のミリ波を効率良く磁化変化に変換し検出することが可能となった。これまでに 154 GHz の単一周波数においてジャイロトロンを用いた磁気共鳴信号検出に成功している[3]。今回、我々は多周波にて測定可能な装置開発を目指し高出力光源であるコンパクトジャイロトロン (FU CW CIA) [4] と力検出型磁気共鳴システム[3]を組み合わせた ESR システムを構築した。ESR の標準試料として知られる DPPH 及び $S=1/2$ を持つ反強磁性体である単結晶試料 $\text{Cu}(\text{C}_4\text{H}_4\text{N}_2)(\text{NO}_3)_2$ (CuPzN) の ESR 測定を行い、複数の基本波発振領域 (108 – 206 GHz, 9.4-646 W) において室温での測定に成功した。本講演ではその詳細について報告する。

[1] H. Ohta *et al.*, Appl. Magn. Reson. **35**, 399-410, (2009). [2] S. Mitsudo *et al.*, J. Phys. Soc. Jpn. **72**, 172-176, (2003). [3] H. Takahashi *et al.*, Appl. Phys. Lett. **118**, 022407, (2021). [4] T. Idehara *et al.*, J. Infrared. Milli. Terahz. Waves **33**, 724-744, (2012).

C-p06

硫酸三グリシンの強誘電軸に垂直な方向の電流

富山大工

喜久田 寿郎

Electric current in the direction perpendicular to the ferroelectric axis of triglycine sulfate

Faculty of Engineering, University of Toyama

Toshio Kikuta

硫酸グリシン ($(\text{NH}_2\text{CH}_2\text{COOH})_3 \cdot \text{H}_2\text{SO}_4$, TGS) 単結晶の強誘電相において強誘電軸 (b 軸) に垂直な方向へ直流電場 (横電場) を印加し続けると、 b 軸に現れる自発分極 P_s の大きさが徐々に減少し、最終的には P_s を観測できなくなる。電気伝導率の方位や温度依存性と P_s の減少速度の特性が似ていることから、横電場で電極から試料内部に侵入した電荷が分極反転を妨げたと考えた。そこで、横電場の印加により流れる電流の時間変化からこの現象のメカニズムの解明につなげるため測定を行っている。

横電場の影響を受けていない試料では、横電場の印加後はほとんど電流が流れず、暫くしてから電流が流れ始め一定値へと落ち着く。印加後の電流が流れていない間は、試料内部の双極子が無極化するために電極から侵入した電荷が使われているものと思われる。双極子の無極化が済むと電極から侵入した電荷は試料中を移動し反対側の電極へと辿り着けるようになるのであろう。一方、横電場の影響を受けた試料では、すでに双極子の無極化が済んでいるため、電極から侵入した電荷はすぐに試料中を移動し反対側の電極へとたどり着くので、横電場の印加後すぐに一定の電流が流れる。

強誘電体は絶縁体なので電荷を運ぶキャリアはほとんどなく、ホッピング伝導により電荷が運ばれるために導電率は温度に敏感である。横電場の影響を受けていない試料では、双極子の無極化をするトラップ準位が空席で、電場の印加でそこへ電子が溜まり、一杯になり溢れると電子が電気伝導に寄与するようになると思われる。トラップ準位にある電子は電場が熱励起により解放されるので、電場をかけて準位を満たしてから試料の温度を上げて解放される電流 (熱刺激電流) を測定することでトラップ準位についての情報が得られると考え測定を開始した。室温以上では相転移温度付近で電荷の放出が観測されている。また、電場を印加しない状態で常誘電相において温度を一定に保った際の電流の緩和時間が数日にもなる、いわゆる誘電体吸収と思われる、ものが確認された。

D-a01

一水素化カルシウム CaH 分子の電子励起状態の寿命測定

富山大院理工 松本 耀介, 八倉巻 翔太, 真橋 秀斗, 小林 かわり, 森脇 喜紀
Lifetime measurement of excited states of calcium monohydride

Univ. Toyama; Fac. of Sci., Y. Matsumoto, S. Yaguramaki, H. Shinbashi, K. Kobayashi and Y. Moriwaki

一水素化カルシウム CaH は太陽スペクトル中に観測されている他, M 型矮星でも観測されており星の分類や, 光度や星表面での重力などの指標となると考えられている[1]。CaH 分子は単純な二原子分子であるが, 状態間の相互作用により複雑なポテンシャル曲線を有している(図 1)。我々はこれまで 19000-27000cm⁻¹ のエネルギー領域の ²Σ 状態について分光実験を行い, B 状態 v=3,5,7,8,10-15,17,19 のバンドオリジンや分子定数を明らかにした[3,4]。さらに, 19000cm⁻¹ 付近に新しいバンドを発見し, そのバンドオリジンと分子定数を明らかにした。我々はこのバンドを Δ 状態と解釈している。

各電子状態の寿命も重要な物理定数である。最近の ab initio 計算の文献によると[2], A,B 状態などに比較して Δ 状態の寿命は一桁以上長いとされる。我々はこの Δ 状態の寿命の測定を行った。また, 同文献[2]でこの Δ 状態よりも 3 倍程度寿命が長いとされている Π 状態についても同様に寿命測定を進めている。本講演ではその結果について報告する。

【参考文献】

- [1] J.R.Mould, *Astrophys. J.*, **207**, 535 (1976).
- [2] A.Shayesteh *et al.*, *Chem. Phys. Lett.*, **667**, 345 (2017).
- [3] K.Watanabe *et al.*, *Chem. Phys. Lett.*, **657**,1 (2016).
- [4] K.Watanabe *et al.*, *Chem. Phys. Lett.*, **710**, 11 (2018).

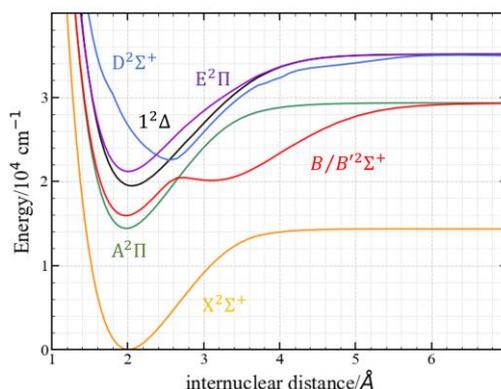


図 1 CaH のポテンシャルカーブ[2]

D-a02

ギ酸メチルのマイクロ波スペクトルの帰属の拡張

富山大理, 金沢大理^A

濱中 真希, 小林 かわり, 常川 省三, 大橋 信喜美^A

Extended assignment of microwave spectra of methyl formate

Univ. of Toyama, Univ. of Kanazawa^A

Masaki Hamanaka, Kaori Kobayashi, Shozo Tsunekawa, Nobukimi Ohashi^A

我々は星間分子のマイクロ波分光実験を行い, 分子定数を決定しており, 電波望遠鏡の電波観測に役立てることができる。本報告では代表的な星間分子であるギ酸メチルの帰属の拡張について報告する。これまでに, 325 GHz までの測定を終えていたが, 新たに 325~360 GHz の帯域で測定を行い, JPL カタログ^[1]に基づき, 新たに基底状態と第 1 振動励起状態の帰属を付けた。その結果, 1133 本のスペクトルに帰属をつけることに成功し, そのうち A 対称種のスペクトルは合計で 563 本であり, 318 本のスペクトルが基底状態, 245 本のスペクトルが第 1 振動励起状態であるとわかった。今後は, 同種の第 2 励起状態についても同様の帰属や解析を行い, また現段階までに測定を終えた帯域と合わせて解析することを予定している。

- [1] H. M. Pickett, *J. Molec. Spectroscopy* 148, 371-377 (1991)

D-a03

磁気トラップ法を用いた Re 微粒子の超伝導転移温度測定

富山大院理工, 福井大院工^A, 阪大院基礎工^B

井口 貴裕, 熊倉 光孝^A, 芦田 昌明^B, 森脇 喜紀

Measurement of superconducting transition temperature of Re fine particles using magnetic trapping method

Univ. of Toyama, Univ. of Fukui^A, Osaka Univ.^B

T. Iguchi, M. Kumakura^A, M. Ashida^B and Y. Moriwaki

超伝導の主要な物理量が超伝導転移温度である。外部からの圧力、磁場によって超伝導転移温度は変化することが知られているが、超伝導体のサイズを小さくすることで超伝導転移温度が変化する可能性が指摘されている[1]。我々の研究グループでは液体 He 環境下でレーザーアブレーションによってサブミクロンサイズの微粒子を生成し、磁場中に空間捕捉する磁気トラップ法によって微粒子の超伝導性について研究を行っている。磁気トラップ法は超伝導の性質であるマイスナー効果を用いたものであり、静磁場を用いて空間中に微粒子を浮遊させる技術である。トラップした微粒子の温度を上昇させることで超伝導状態でなくなりトラップから離脱する。そのときの温度を観察することによって、超伝導転移温度を測定することができる。先行研究では In、Sn の微粒子について超伝導転移温度を測定し、バルクの転移温度と異なることが確認された[2] [3]。また Re 微粒子の転移温度は、バルクが 1.7K であるのに対し、微粒子では 4.2K 以上であった[4]。He の沸点が 4.2K であるため、それ以上の温度測定は He ガス中で行う必要がある。本発表では、He ガス中における超伝導 Re 微粒子の磁気トラップおよび Re 微粒子の超伝導転移温度測定について述べる。

[1] S. Bose and P. Ayyub, Rep. Prog. Phys. 77 116503 (2014).

[2] F.-Y. Wu et al., J. Appl. Phys. 101, 09G111 (2007).

[3] W.-H. Li et al., Phys. Rev. B 72, 214516 (2005).

[4] Y. Takahashi et al., Appl. Phys. Express 10, 022701 (2017).

D-a04

PbO の B1($\nu' = 4$) 状態の摂動の解析と新たな $\Omega = 1$ の状態の測定

富山大院理工, 東條太一, 中野愛, 中野嘉保, 丸橋直生, 丸山浩司, 南大介, 榎本勝成

Analysis on the perturbation in the B1($\nu' = 4$) state of PbO and observation of a new $\Omega = 1$ state

Faculty of Science, Univ. of Toyama

T. Tojo, A. Nakano, K. Nakano, N. Marubashi, K. Maruyama, D. Minami, K. Enomoto

我々の研究グループでは低温 PbO 分子気体を生成し、レーザー誘起蛍光法により励起スペクトルを観測し、超低膨張エタロンの共鳴を参照して約 30 MHz の精度で遷移周波数を決定している。測定を進める中で帰属がつかないスペクトルが発見され、従来の実験研究では発見されていない新しい $\Omega = 1$ の状態が見つかった。以前の講演では B1($\nu' = 4$) 状態の摂動は a1 状態の近接する振動準位によるものと考えていたが、この新しい $\Omega = 1$ の状態の発見によって摂動の原因はこの $\Omega = 1$ の状態によるものであると現在は考えている。

B1($\nu' = 4$) 状態やこの $\Omega = 1$ の状態の共鳴線を測定し、摂動のパラメータをより詳しく決定することが出来た。しかし、解析結果における換算 χ^2 の値が大きいことから、この 2 準位間の相互作用を考慮するだけでは不十分あることがわかった。B1($\nu' = 4$) 状態の付近にはこの $\Omega = 1$ の状態以外にも a1 と $A0^+$ ($\nu' = 10$) 状態があり、B1($\nu' = 4$) と $\Omega = 1$ の状態に加え a1 または $A0^+$ ($\nu' = 10$) 状態の 3 準位間の相互作用を考慮し、摂動を解析する必要がある。今回の講演では解析の経過を報告する予定である。

D-a05

重力波望遠鏡 KAGRA におけるレーザー強度安定化システムの インストールと現在の強度雑音

富山大院理 I 加藤 順平, KAGRA Collaboration

Installation and current intensity noise of laser intensity stabilization system for gravitational wave telescope KAGRA

Univ. of Toyama; Grad School of Sci. and Eng. J. Kato, for the KAGRA Collaboration

Albert Einstein によって一般相対性理論から予言された重力波が 2015 年 9 月にアメリカの重力波望遠鏡 LIGO によって初の直接観測に成功している。重力波望遠鏡 KAGRA は日本における重力波の観測を目指して建設されており、2019 年 4 月にはドイツの GEO と 2 週間の国際共同観測が行われた。

KAGRA は Michelson 干渉計を基調とし、両腕に Fabry-Perot 共振器を持つ重力波望遠鏡である。重力波の到来により両腕の長さが差動的に変化し、光検出器の受ける光量が変わることによって重力波を観測する。重力波の振幅は非常に小さいため、検出には様々な雑音を取り除く必要がある。その雑音源の 1 つとして、レーザーの強度揺らぎがあり、我々はこの強度揺らぎを低減させるシステムの開発を行っている。レーザー強度安定化システムは干渉計に入る光源の一部を電圧信号として取り出し、Servo 回路によるフィルタを通して音響光学素子にネガティブフィードバックする制御システムである[1]。

今回のシステムには、真空対応やビームジッターの低減などが取り込まれている。2023 年参加予定の観測 (O4) での感度向上に向けて強度雑音の要求値が設定されている。本発表では、我々が取り組んでいる新たなレーザー強度安定化システムのインストール及び、実際の現在 KAGRA で測定した強度雑音について発表する。

[1] 山下堪太, KAGRA collaboration 『重力波望遠鏡 KAGRA におけるレーザー強度安定化システムの開発 II』
日本物理学会北陸支部定例学術講演会 2020

D-a06

KAGRA 低温懸架系制御用光てこへの環境雑音の影響

富山大理 千葉天祐人 KAGRA Collaboration

Environmental noise on optical lever to control KAGRA cryogenic payload

Fac. of Sci., Univ. of Toyama. A.Chiba, for the KAGRA Collaboration

重力波とは 1916 年にアインシュタインによって存在が予言され、2015 年にアメリカの Advanced LIGO が初検出した微小な時空の波である。2022 年 11 月現在、100 近くの重力波が検出されている。天文学的観測のためには重力波源の方向、すなわち重力波の到来方向を正確に決定する必要があり、そのためには複数の重力波望遠鏡が必要である。日本においても岐阜県飛騨市に大型低温重力波望遠鏡 KAGRA が建設された。KAGRA の LIGO と異なる特徴は地面振動が小さい神岡坑山に設置され、鏡とその懸架系の熱雑音低減のために 20K 程度まで冷却されることである。2020 年 4 月に KAGRA は観測を行ったが 50Hz 以下は低温懸架自体に設置されている低温光変位センサーの雑音で感度が制限されていた。このセンサーの目的は懸架系の共鳴振動抑制である。2023 年春から開始される次の観測のためにより雑音の小さい光てこを設置した。この光てこの雑音低減は KAGRA の性能向上のために重要である。特に光てこ周囲の音や振動が光てこの雑音となりうる (環境雑音)。そこで我々は音や振動、磁場、風等の環境雑音が光てこに及ぼす影響を調査した。本講演ではその結果を報告し、今後の展望について紹介する。

D-a07

大型低温重力波望遠鏡 KAGRA におけるパラメトリック不安定性

富山大理 山本将之, KAGRA collaboration

Parametric Instability of KAGRA large scale cryogenic gravitational wave telescope

Univ. of Toyama M.Yamamoto, for the KAGRA collaboration

重力波とは時空の歪みが波として伝播するものである。1916年に Albert Einstein が理論的にその存在を予言したものの、微弱なために検出は非常に困難だった。しかし、2015年アメリカの Advanced LIGO が初の重力波を検出した。それ以降 100 近い重力波が検出され重力波天文学の時代が始まった。日本においても岐阜県飛騨市に大型重力波望遠鏡 KAGRA が建設され、すでに 2020 年春に観測運転を行った。KAGRA は他の大型重力波望遠鏡と同じく Michelson 干渉計を基本とし、その両腕には Fabry-Perot 共振器を内蔵している。ほかの干渉計と異なる点として地面振動の小さい神岡鉱山に建設されたこと、熱雑音を抑えるために 20K に冷却されたサファイアを鏡として使用していることが挙げられる。

重力波を捉えるために高パワーレーザーが必要になるが、その際にパラメトリック不安定性が問題となってくる。熱雑音などによるわずかな鏡の弾性振動によって入射した光とは異なる Fabry-Perot 共振器の光学モードが励起される。このモードが共振器内で増幅され、鏡に輻射圧を与え、鏡の弾性振動を更に励起させる、このような正のフィードバックにより鏡の揺れと不安定な光学モードを増幅し干渉計の状態が不安定になる。LIGO はこの問題を解決することで重力波の初検出を成し遂げた。既に報告したシミュレーションによると KAGRA のパラメトリック不安定性は LIGO より軽微であるが、今後対策は必要となってくる。このシミュレーションが明らかにした不安定な弾性モードに関する実験的検証(モードの形状と周波数)を行っている。ここ最近ではより精密な測定のため装置の較正方法を改良した。本講演では検証実験の現状と今後の展望について紹介する。

D-p01

LT-GaAs 基板光伝導アンテナのサブバンドギャップ励起時の テラヘルツ波発生特性の評価

福井大工, 福井大遠赤セ^A

友永景介, 北原英明^A, 谷正彦^A

Evaluation of terahertz wave generation characteristics

with sub-bandgap excitation of LT-GaAs substrate photoconductive antenna

Sch Eng, UF; FIR UF^A

Keisuke Tomonaga, Hideaki Kitahara^A, Masahiko Tani^A

通常の GaAs のバンドギャップは、室温で約 1.43 eV であるので、870nm 以上のサブバンド波長では光励起ができないが、低温成長 GaAs(LT-GaAs)は欠陥による中間準位を介したサブバンドギャップ励起が可能である。波長可変励起光源として、チタンサファイアレーザー再生増幅器およびパラメトリック増幅器を用いてテラヘルツ(THz)時間領域分光装置を構築し、1.2 μm ~1.55 μm の範囲を 50nm ステップで走査して、各波長で LT-GaAs 基板の光伝導アンテナで発生した THz 時間波形を取得し、そのピーク信号強度から励起波長依存性を評価した。右図は、THz 時間波形の positive peak, negative peak, peak to peak の信号値を各波長に対してプロットしたものである。講演では励起波長依存性を LT-GaAs の中間準位分布に基づき議論する。

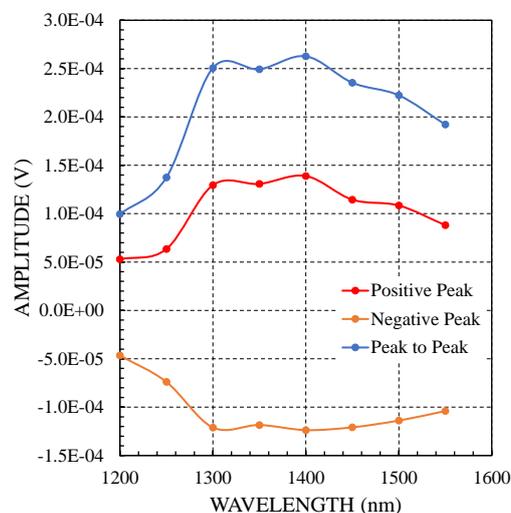


図. LT-GaAs 基板の光伝導アンテナで発生した THz 波振幅の励起波長依存性

D-p02

ZnTe 結晶の 800nm 帯での Verdet 定数の評価

福井大工, 福井大遠赤セ^A, 物質・材料研^B 今瀬裕介, 北原英明^A, Miezal Talara^A, 谷正彦^A,
Dmitry Bulgarevich^B 渡邊誠^B

Evaluation of Verdet constant at 800 nm band of ZnTe crystal

Sch. of Eng., Univ. of Fukui; FIR UF^A; NIMS^B Y. Imase, H. Kitahara^A, M. Talara^A, M. Tani^A,
D. Bulgarevich^B, M. Watanabe^B

我々の研究グループでは、光学的手法による磁場イメージングの研究を行っている。最近、テラヘルツ波の発生や検出用の電気光学結晶として知られている ZnTe に 800nm 帯の波長で、磁場による偏光面の回転、すなわちファラデー効果が顕著に現れることが確認された。本研究では、ZnTe 結晶の 800 nm 帯での Verdet 定数の測定を試みたので、これを報告する。Verdet 定数 V は、ファラデー効果の強さを表す指標であり、ファラデー回転角 θ [rad], 磁場 B [T], 媒質の厚さ d [m] を用いて $V = \theta / (B \cdot d)$ で与えられる。実験では ZnTe 結晶(厚さ 1mm)に 800nm 帯のレーザーを入射させ、ネオジウム磁石で軸方向の磁場(磁束密度 $B = \pm 30$ mT)を印可し、直線偏光の回転角を計測した。右図は磁束密度に依存したファラデー回転角の測定結果である。発表では、640 nm 以下の波長で報告されている Verdet 定数の文献値 [1] と比較し、測定精度も含めて議論する。

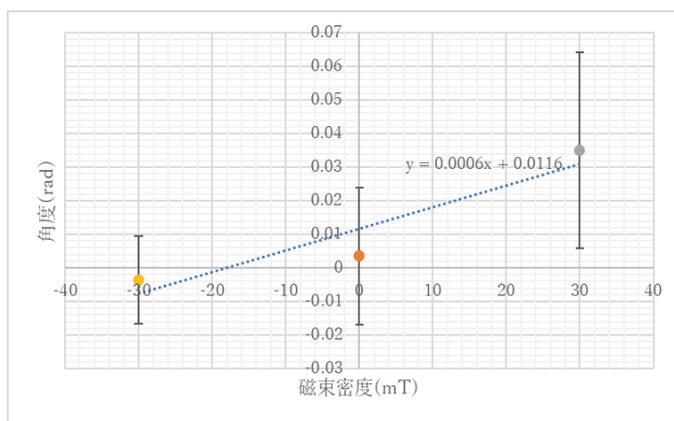


図. ZnTe (t=1mm) のファラデー回転角の磁場依存性

[1] V. V. Karmazin and V. K. Milosavskii, Phys. Stat. Sol. (B), **44**, K101 (1971)

D-p03

アンテナ構造による金属スピントロニック素子からの テラヘルツ波放射効率の増強

福井大工, 福井大遠赤セ^A, 物質・材料研^B 小林可奈, Miezal Talara^A, 谷正彦^A,
Dmitry Bulgarevich^B, 渡邊誠^B

Enhancement of terahertz wave radiation efficiency of metallic spintronic devices by antenna structure

Sch. of Eng., Univ. of Fukui; FIR UF^A; NIMS^B K. Kobayashi, M. Talara^A, M. Tani^A,
D. Bulgarevich^B, and M. Watanabe^B

我々の研究グループでは金属スピントロニック素子によるテラヘルツ (THz) 波発生の研究を行っている。金属スピントロニック素子からの THz 放射効率は磁性金属と非磁性金属の組み合わせや素子の形状、構造などに依存する。

本研究では、アンテナ構造の導入によって THz 波発生にどのような影響を及ぼすかを調べることを目的として、膜厚と形状の異なる素子を用いて放射効率の比較を行った。中心部分は膜組成 Fe(2nm)/Pt(3nm)、アンテナとして動作する部分が Fe(2nm)/Pt(200nm) であるディアボロ型、ダイポール型の形状の素子をそれぞれ製作し、THz 時間領域分光法を用いて THz 放射波形を比較した。図 1 はそれらの素子からの THz 波の時間領域波形である。その結果、ダイポール型のアンテナ素子による THz 波放射効率は、振幅比でアンテナ構造がない場合に対して 4.2 倍、ディアボロ型のものに対して 1.1 倍になることが分かった。

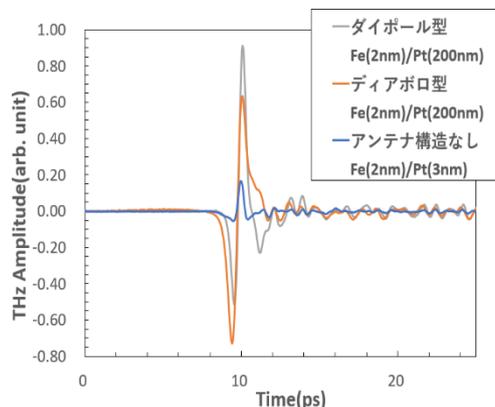


図 1. THz 放射波形の比較

D-p04

光励起と電場を組み合わせた CdSe/ZnS 半導体量子ドットの運動操作法の開発

福井大工 稲葉 勇人, 右馬 健太郎, 岡本 多英, 守安 毅, 熊倉 光孝

Development of a manipulation method for CdSe/ZnS quantum dots using optical excitation and an electric field

Univ. Fukui, Hayato Inaba, Kentaro Migiuma, Tae Okamoto, Takeshi Moriyasu, Mitsutaka Kumakura

数 nm サイズの中性粒子の常温液体中での運動操作は、粒子体積が小さいことや熱ゆらぎが大きいことなどから実験的には困難であるとされてきたが、近年我々は、直径 6 nm 程度の CdSe/ZnS 半導体量子ドットの運動を、均一な光励起と不均一電場を用いて操作できることを示唆する実験結果を得ることに成功した。しかし、光励起時に生じる溶液の対流などにより、定量的な議論や理論との整合性の確認が困難であった。そこで、対流に勝るような強い力を発生させるため、均一電場と不均一光強度分布を利用した新たな運動操作手法の開発に取り組んだ。

量子ドット溶液に対向した 2 つの電極により均一電場を印加し、ここに集光したレーザービームを入射して、レーザー強度の最大位置付近に量子ドットを捕捉する。励起光として集光レーザービームを用いることで、光強度分布の勾配が大きくなり、従来よりも大きな力の発生が期待できる。ただし、焦点付近の数 10 μm 程度の空間領域における量子ドットの密度分布変化を測定するため、観測には

顕微鏡を用いる必要がある。今回、我々は図 1 のような新たな実験装置を構築し、その性能評価を行った。講演では、印加される電場分布や、構築した顕微鏡の焦点深度、分解能等の性能について紹介する。

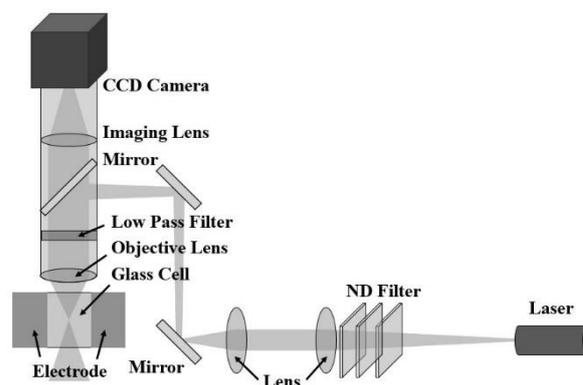


図 1. 実験装置の概略図

D-p05

磁場変調による金属スピントロニック素子からのテラヘルツ波放射測定

福井大工, 福井大遠赤セ^A, 物質・材料研^B, 石井克幸, M. Talara^A, M. C. Escaño^A, 北原秀明^A, 谷正彦^A, D. Bulgarevich^B, 渡邊誠^B

Measurement of terahertz radiation from metallic spintronic devices by magnetic field modulation

Sch. of Eng., Univ. of Fukui; FIR UF^A; Res. Center for Structural Materials, NIMS^B
K. Ishii, M. Talara^A, M. C. Escaño^A, H. Kitahara^A, M. Tani^A, D. Bulgarevich^B, M. Watanabe^B

我々の研究グループでは強磁性/非磁性金属ヘテロ構造(金属スピントロニック素子)からのテラヘルツ(THz)波放射についての研究を行っている。本発表では金属スピントロニック素子からの THz 波放射が磁場に依存することを利用して、磁場変調による位相同期検出の特性評価を行った結果を報告する。磁場変調の場合、磁場の向きを反転させることで、レーザー光を変調する場合に比べて、信号強度が 2 倍になることが期待できる。一方、変調周波数に依存して印可される磁場強度が変化するので、信号対雑音比の磁場変調周波数依存性を調べ、最適な変調周波数を評価した。MgO 基板の上に Pt/Fe 薄膜(膜厚は Pt3nm, Fe2nm)を蒸着した素子を用い、100Hz~2kHz までの交流電流をコイルに流し、交流磁場を印加させたときのそれぞれの周波数での THz 波形を、THz 時間領域分光装置を用いて観測した。例として図 1 に 500Hz の交流磁場を印加したときの THz 波の時間領域波形を示す。講演では、交流磁場の周波数に依存した信号対雑音比について報告するとともに、ポンプ光を光チョッパーで変調した場合との比較を示す。

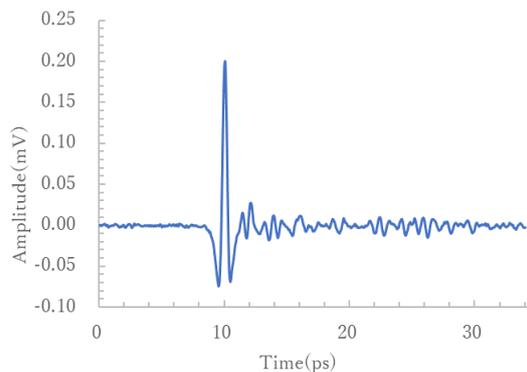


図 1. 磁場変調 500Hz の時の THz 波形

D-p06

偏光フィルタリングと光検出器の飽和効果抑制によるテラヘルツ波の電気光学サンプリングにおける信号対雑音比の改善

福井大工, 遠赤セ^A

種村 泰希, 中村 響, 古屋 岳^A, 北原 英明^A, 谷 正彦^A

Improvement of signal-to-noise ratio in electro-optic sampling of terahertz waves by polarization filtering and suppression of photodetector saturation effects

Sch. of Eng., Univ. of Fukui; FIR UF^A

T. Tanemura, H. Nakamura, T. Furuya^A, H. Hitahara^A and M. Tani^A

我々の研究グループでは、Tilted Pulse Front 法により発生した高強度テラヘルツ(THz)波を用いて THz 波と物質の非線形相互作用の研究を行っている。そのためには THz 波の電界振幅の正確な測定と、微弱な THz 波の変化を測定するため、高感度かつ高精度な THz 波検出技術が必要となる。本研究では THz 波検出に用いている ZnTe 結晶による電気光学サンプリング (EOS) に偏光フィルタリング法を適用し、その高感度化を試みた。光検出器に入射するプローブ光の水平偏光成分を抑制し、EOS の感度を増大させるために、ブリュースター角配置の石英製平行平板を偏光フィルタとして光検出器の前に置いた。図 1 は偏光フィルタ「あり」と「なし」の場合の EOS による THz 時間波形の比較である。また、光検出器が飽和してしまうと、EOS 信号は線形応答から外れて電場強度が実際よりも小さく見積もられる。そのため、光検出器(フォトディテクタ)の光量に対する飽和効果の影響を評価した。

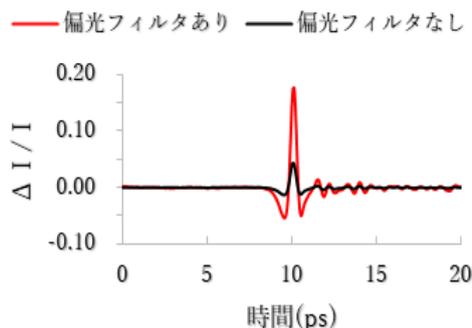


図 1. 偏光フィルタリングを用いた時とそうでない時の THz 時間波形

D-p07

テラヘルツ時間領域コヒーレントラマン分光計測における光量バランスによる信号対雑音比の改善

福井大工、遠赤セ^A、鯉田嵩大、谷正彦^A、北原英明^A、古屋岳^A

Improvement of signal to noise ratio by balancing of light intensity in terahertz time-domain coherent Raman spectroscopy

Sch. of Eng., Univ. of Fukui; FIR UF^A

Takahiro Namazuta, Masahiko Tani^A, Hideaki Kitahara^A, Takashi Furuya^A

我々のグループではテラヘルツ時間領域コヒーレントラマン分光法 (THz-TDCRS) による水溶液試料の高精度分光に向けて、信号対雑音比 (SN 比) の改善に取り組んでいる。THz-TDCRS では周波数チャープ光で発生したビート光を試料に照射し、時間領域でラマン利得あるいは減衰を検出する。今回は信号光と参照光をバランス検出することで、SN 比を改善する手法を検証した。右図は四塩化炭素のラマンスペクトルを、光量バランス検出器に入る光量を調節しながら、THz-TDCRS により測定したものである。本講演では、光量調整における SN 比の変化についても報告する。

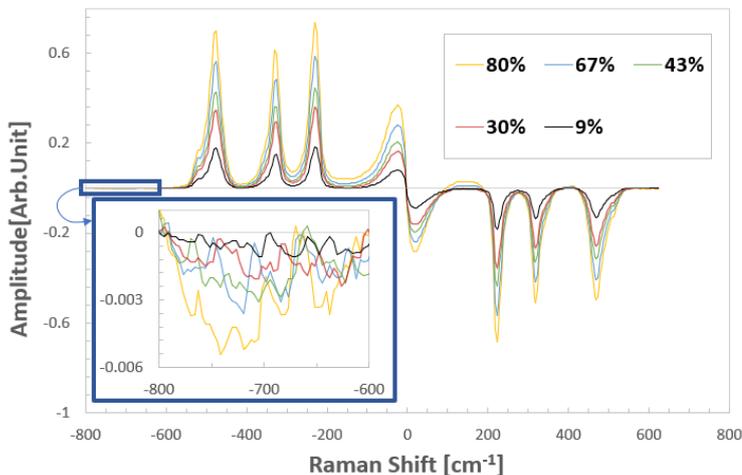


図. 光量バランスによる THz-TDCRS で測定した CCl₄ のラマンスペクトルの光量依存性とその拡大図

E-a01

小角 X 線散乱, 広域 X 線吸収微細構造による Sn ナノ粒子の構造解析

富山大理^A 弘前大理工^B 得地 周紀^A, 池本 弘之^A, 宮永 崇史^B

Structural Analysis of Sn nanoparticles by SAXS and EXAFS

Fac. Sci., Univ. Toyama^A; Fac. Sci Tech., Hirosaki Univ^B S. Tokuchi^A, H. Ikemoto^A, and T. Miyanaga^B

Sn は 14 族に属する元素で、常温・常圧では金属である β 相 (β -Sn) が安定であるが、13.2 度以下では非金属であるダイヤモンド構造の α 相 (α -Sn) が安定である。理論計算によると、Sn はナノ粒子の状態では β 相が安定である。本研究の目的は、小角 X 線散乱(SAXS)測定と、広域 X 線吸収微細構造(EXAFS)測定により Sn ナノ粒子(NP-Sn)の構造を明らかにし、結晶相を同定することである。

NP-Sn は、二種類の DP 油(ライオン、ネオバック)に対して Sn をスパッタリングして作製した(NP-Sn(1)、NP-Sn(2))。SAXS、EXAFS 測定は KEK の PF-BL10C と PF-AR-NW10A でそれぞれ行った。SAXS 解析により求めた粒径は、NP-Sn(1)は 1.6nm、NP-Sn(2)は 1.9nm である。図 1 に、NP-Sn の EXAFS 関数のフーリエ変換 $|FT(r)|$ を示す。いずれの NP-Sn でも、2.05Å 付近と 2.85Å 付近にピークが見られた。 α -Sn と β -Sn の最近接原子間距離はそれぞれ 2.81Å、3.02Å であり、SnO₂ の Sn と O の最近接原子間距離は 2.052Å である。2.85Å 付近のピークの EXAFS 解析により、NP-Sn(1)では原子間距離 2.83Å、NP-Sn(2)では原子間距離 2.79Å が得られた。したがって、NP-Sn の 2.85Å 付近のピークは α -Sn に由来し、2.05Å 付近のピークは SnO₂ の Sn-O 原子相関であると考えられる。以上により、作製した Sn ナノ粒子は α 相であるが、一部が酸化していると考えている。

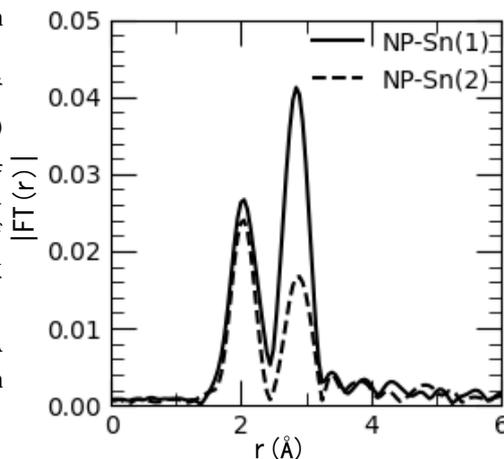


図 1: NP-Sn の動径分布関数

E-a02

カーボンナノチューブに包摂された Se 鎖の構造

富山大理工, 弘前大理工^A, 名古屋大 SR 研究センター^B, 筑波大学数理^C

河口 怜央, 池本 弘之, 宮永 崇史^A, 田淵 雅夫^B, 藤森 利彦^C

Structures of Se chain encapsulated inside carbon nanotube

Sch. Sci., Univ. Toyama; Fac. Sci., Hirosaki Univ.^A; SR Res.Cen., Nagoya Univ.^B; Sch. Pure., Univ. Tsukuba^C;

R. Kawaguchi, H. Ikemoto, T. Miyanaga^A, M. Tabuchi^B, and T. Fujimori^C

安定相の trigonal Se (t-Se) は、2 配位共有結合による 3 回螺旋鎖を基本構造とし、この基本構造間の相互作用によって 3 回螺旋鎖が並行に配列している。本研究の目的は、単層カーボンナノチューブ (SWCNT) に包摂された Se 鎖 (Se@SWCNT) の構造を、X 線吸収微細構造 (XAFS) 解析により明らかにすることである。

t-Se と Se@SWCNT の EXAFS 関数をフーリエ変換した動径分布関数 $|FT(r)|$ を図に示す。共有結合に由来する第一ピークは位置も高さもほとんど同じであるが、鎖間最近接原子相関に由来する 3.4Å 付近のピークは Se@SWCNT ではほとんど消滅している。このことは、Se@SWCNT においても鎖状構造が残存しているが、鎖間の相関は消失している、すなわち孤立した 3 回螺旋鎖であることを示唆する。

広域 XAFS の構造解析から、Se@SWCNT の共有結合長が 2.33Å と t-Se に比べて 0.04Å 短いことが分かった。また、Einstein モデルによるデバイ・ワラー因子の温度変化の解析から、Se@SWCNT の Einstein 温度は 251K と、t-Se に比べ 3K 高い結果が得られた。しかしながら、Te@SWCNT の Einstein 温度が 200K で、t-Te に比べて 43K 高い Te の場合と比較すると、その差は小さい。これは、Se における鎖間相互作用が Te に比べて弱いことが影響していると考えている。

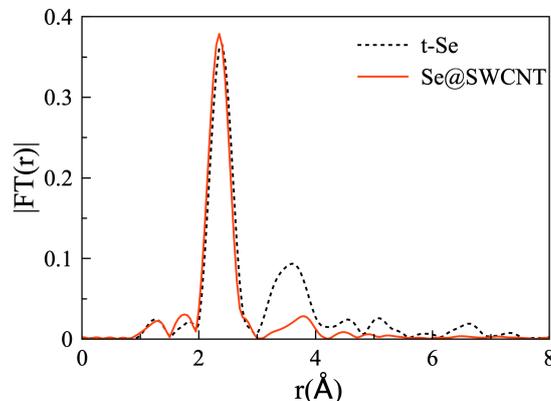


図 1: t-Se と Se@SWCNT の動径分布関数

E-a03

複数シンチレータを用いたダークマター探索

福井大工 尾関昂志, 戸澤理詞, 丹羽雄大, 小川泉

Dark Matter Search Using Multiple Scintillators

Faculty. Of Eng., Univ. of Fukui, K. Ozeki, M. Tozawa, Y. Niwa, I. Ogawa

ダークマターは宇宙の組成の約 27% を占めると考えられている未発見の物質である。ダークマターの有力な候補として素粒子物理学上で予言されているものとして WIMPs が挙げられる。我々のグループでは様々なシンチレーション検出器を用いてダ WIMPs をターゲットとした研究を行っている。WIMPs はほとんど相互作用しないが、ごくまれに原子核と散乱をし、反跳エネルギーを与えるとされており、この反跳エネルギーを測定することで検出が可能となる。

このようなダークマター探索においては低バックグラウンド(BG)環境での観測が必要となる。様々な BG の低減方法がある中、本研究では粒子の反応断面積の違いを用いて低 BG 環境の実現を目指している。複数の検出器を並べた際、 γ 線はコンプトン散乱等により、検出器が複数反応を示す可能性が高い。一方で

WIMPs は相互作用をする可能性が非常に少ないと考えられているため、単一の反応のみを取り出すことにより確からしい信号を検出することができる。この方法において重要となってくるのはそれぞれの検出器の特性であり、今回は現在行っている検出器の基礎的な実験についてその状況を報告する。

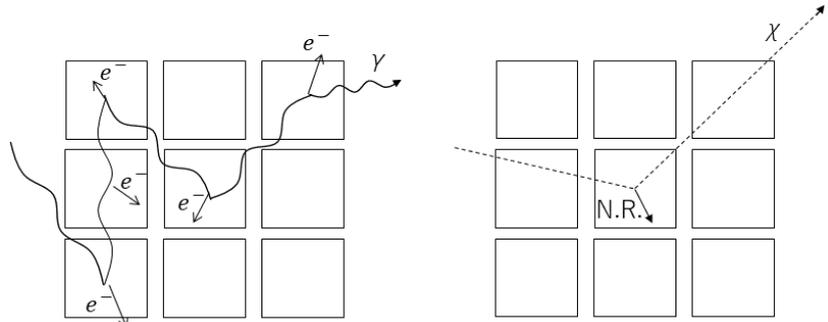


図 複数の検出器を並べた際の入射粒子による信号の違い
 γ 線: 複数の検出器が反応 WIMPs 候補: 一つのみ反応

E-a04

GAGG シンチレータにおける波形弁別能の温度依存性の評価

福井大工, 稲垣 凌太, 中島 恭平, 玉川 洋一, 林長宏

Evaluation of temperature dependence of waveform discrimination in GAGG scintillator

Univ. of Fukui, R. Inagaki, K. Nakajima, Y. Tamagawa, T. Hayashi

近年開発された GAGG 結晶は $0\nu\beta\beta$ 崩壊を起こす核種である 60Gd を含む無機シンチレータであり、本研究室ではこれを用いた $0\nu\beta\beta$ 崩壊観測実験を計画している。しかし $0\nu\beta\beta$ 崩壊は非常に稀な事象であり、多くのバックグラウンド事象が存在している。そこで、バックグラウンド事象を除去するために入射粒子ごとの波形弁別能に関して研究を行っている。

無機シンチレータの温度を上げると発光量と減衰時定数が減少し、波形弁別能が変化する。ここに着目し、本研究室では GAGG シンチレータを -100°C から 20°C に変化させたときの、波形弁別能を調査してきた。その結果、 20°C 時の波形弁別能が最も高くなった。そこで、GAGG シンチレータを 20°C 以上に温度上昇させたとき、さらに波形弁別能が向上することを想定した。

本研究では、恒温槽を用いて GAGG シンチレータの温度を 25°C から 50°C に温度上昇させ、 α 線と γ 線を照射したときの波形弁別能の評価を行った。

E-a05

Li 含有液体シンチレーターにおける α 線の消光に関する研究

福井大・工, 若狭湾エネルギー研究センター^A

按田 左助, 中島 恭平, 鈴木 耕拓^A

Study of alpha-ray quenching in Li loaded liquid scintillator

Univ. of Fukui, The Wakasa Wan Energy Research Center^A

S. Anda, K. Nakajima, K. Suzuki^A

液体シンチレーターは粒子の入射エネルギーの大きさに比例した強度の蛍光を出す。その蛍光の強度を読み取ることで入射エネルギーを観測することができる。しかし阻止能の大きな粒子を測定する際は、高い電離密度状態によって蛍光が阻害され、十分な蛍光が観測されない電離消光という現象が起こる。このとき、消光の度合いを表すパラメーターを入射エネルギーと観測エネルギーの比を用いて消光係数と呼ぶ。

我々の研究グループでは Li 含有液体シンチレーターの開発を行なっている。Li 含有液体シンチレーターとはニュートリノ検出器で、⁶Li による中性子捕獲信号を利用してニュートリノの検出効率を高める工夫をしている。この Li 含有液体シンチレーターで任意のエネルギーの重粒子を観測する場合、電離消光によるエネルギーロスを補正するため消光係数をあらかじめ測っておく必要がある。

そこで若狭湾エネルギー研究センターのタンデム加速器や ²⁴¹Am 線源を用いて α 線を Li 含有液体シンチレーターに照射した。線源と液体シンチレーターの距離を調節することで 1.5~5MeV の任意のエネルギーを入射することができた。

本講演では、測定結果より得られた Li 含有液体シンチレーターにおける α 線消光係数のエネルギー依存性について報告する。

E-a06

Li 含有液体シンチレーターの長期安定性評価

福井大・工, 若狭湾エネルギー研究センター

伊藤 善亮, 小栗 廉太郎, 中島 恭平, 鈴木 耕拓

Evaluation of long-term stability of Li-containing liquid scintillators

Univ. of Fukui, The Wakasa wan Energy Research Center

Y. Ito, R. Oguri, K. Nakajima, K. Suzuki

我々は原子炉ニュートリノモニターの研究開発を行っている。原子炉ニュートリノモニターとは原子炉内で発生する核分裂生成物が β 崩壊する際に放出する反電子ニュートリノを観測することで、原子炉の稼働状況や核燃料組成比を遠隔から測定する技術である。

原子炉ニュートリノモニターで使用する検出器として Li 含有液体シンチレーターを開発し、これまでの研究で、発光量、波形弁別能、中性子捕獲事象、透過率を評価したが、時間経過による発光量の変化についての課題が残っていた。原子炉ニュートリノモニターとして使用するには長期間の測定が必要であるため、検出器の長期的な安定性を評価する必要がある。

本研究では Li 含有液体シンチレーターの発光量を長期的に安定させる手法として、窒素バブリングを行い、長期安定性を調査したため報告する。

E-a07

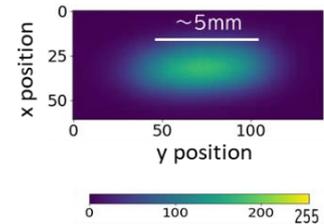
^{48}Ca のレーザー同位体分離における原子ビームプロファイルモニタの開発

福井大工 阪大核セ^A, 祐伯蓮 小川泉 仁木秀明^A 平岩侑 中島諄也

Development of the Atomic Beam Profile Monitor for Laser Isotope Separation of ^{48}Ca

Fac. of Eng., Univ. of Fukui; RCNP, Osaka Univ.^A R. Yuhaku, I. Ogawa, H. Niki^A, T. Hiraiwa, J. Nakajima

現在、 ^{48}Ca を崩壊核としたニュートリノの放出を伴わない二重ベータ崩壊($0\nu\beta\beta$ 崩壊)の観測実験が、ニュートリノのマヨラナ性検証のため行われている。 ^{48}Ca を標的核として用いる利点は、 $0\nu\beta\beta$ 崩壊核種の中で最大の Q 値を持ち、低バックグラウンドでの測定が期待されるという点にあるが、その反面、天然存在比が非常に小さいため、濃縮する必要がある。福井大学ではレーザー同位体分離法による濃縮を研究している。本手法では、複数の同位体を含む原子のビームに特定波長のレーザーを照射し、目的の同位体のみ運動量を与え、偏向・分離する。大量生産に当たっては、レーザー、原子ビーム等のパラメータを最適化しなければならず、後者のためには原子ビームの位置・運動量分布といった情報(プロファイル)が必要となる。本研究では、分離の際に光子が放出されることを利用して、プロファイルを測定するシステムを開発した。CMOS カメラにより蛍光を撮像し、得られた画像を解析することで、位置分布が取得可能である。加えて、波長を掃引することにより、運動量分布の測定も可能となる。また、蛍光測定はレーザーの光子の吸収・放出をリアルタイムでモニタリングできることから、同位体分離の安定・自動運用を見据えて、現在、発振波長制御への適用も試みている。今回は、プロファイルモニタの開発および、発振波長制御への適用の試みについて報告する。



Caの蛍光の画像データ

E-a08

^{48}Ca の大量生産に向けたレーザー同位体分離の研究

福井大工, 阪大核セ^A 平岩侑, 祐伯蓮, 中島諄也, 小川泉, 仁木秀明^A

Laser Isotope Separation for Mass Production of ^{48}Ca

Fac. of Eng., Univ. of Fukui; RCNP, Osaka Univ.^A T. Hiraiwa, R. Yuhaku, J. Nakajima, I. Ogawa, H. Niki^A

ニュートリノのマヨラナ性の検証を目的として、 ^{48}Ca のニュートリノ放出を伴わない二重ベータ崩壊 ($0\nu\beta\beta$)の探索が行われている。 ^{48}Ca は高い Q 値(4.27MeV)を持っているためバックグラウンドに強いが、天然存在比が非常に小さい(0.187%)。後者の理由のために、我々はレーザーによる偏向法を用いて Ca 同位体分離の開発研究を行っている。偏向法とは、蒸気にした Ca をコリメートし、原子ビーム状にし、そこにレーザーを照射することで目的の同位体のみ運動量を与え、同位体分離を行う手法である。現在は実証段階を経て ^{48}Ca の大量生産に向けた研究を進めている。福井大学では、特に原子ビーム系についてより効率的で安定した生産に最適なビームプロファイルを得るべく、研究・開発を行っている。

^{48}Ca の大量生産のためには、高い収集効率を維持しながら生産量を最大化する必要がある。これを実現するために、我々はシート状にコリメートされた原子ビームの開発・研究を行っている。これは複数本のチューブを並べて作成する予定である。容量の小さい原子ビームオープンを使用したテストによってチューブによるコリメート効果は実証された[1]。現在は、大容量の原子ビームオープンを搭載した新型チャンバーを導入し、チューブ1本のコリメート効果の検証を行っている。図に新型原子ビームオープンで測定された Ca の空間分布の結果を示す。原子ビームのモニタリングは飛行時間測定法(TOF)を用いた方法、膜厚計を用いた方法、蛍光観測を用いた方法の3種類で行った。本発表では新型チャンバーでの実験結果の詳細と、3種類のモニタリングシステムの開発の現状について報告する。

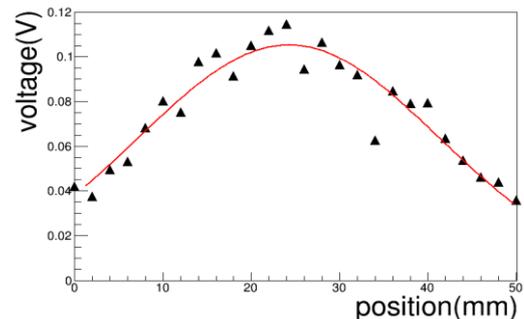


図 新型チャンバーでの Ca 空間分布測定結果

[1] I Ogawa et al 2022 J. Phys.: Conf. Ser. 2147 012012

E-p01

Geant4 をベースにした⁴⁸Caに対するレーザー同位体濃縮のシミュレーション開発 福井大工, 阪大核セ^A 中島 諄也, 平岩 侑, 祐伯 蓮, 小川 泉, 仁木 秀明^A

Development of the Simulator for Laser Isotope Separation of ⁴⁸Ca based on Geant4

Sch. of Eng., Univ. of Fukui; RCNP, Osaka Univ.^A J. Nakajima, I. Ogawa, H. Niki^A, T. Hiraiwa, R. Yuhaku

ニュートリノのマヨラナ性の検証実験として、ニュートリノを放出しない二重ベータ崩壊 ($0\nu\beta\beta$ 崩壊) の観測が有望である。⁴⁸Caは二重ベータ崩壊核の中で最大の Q 値を持つ一方、その自然存在比が小さい (0.187%) ため濃縮する必要がある、現在我々は、偏向法により年間 1kmol 程度の⁴⁸Ca製造を目指している。偏向法は、蒸発させた原子にレーザーを照射し、目的の同位体のみ運動量を与えて分離する方法である。⁴⁸Caの大量生産には長時間安定的かつ効率的に稼働可能な装置が必要であるが、複数のパラメータの最適化を行うためにはシミュレーションが有用である。本研究では、先行研究で開発した偏向法シミュレーションプログラムを、放射線シミュレーション用の Geant4 をベースとしたものに移植し、より現実的な装置での詳細なシミュレーションを行うべく開発を進めている。前回報告したシステムでは、光子の吸収確率やエネルギー変化を考慮できない、低エネルギーで粒子が飛ばないなどの課題があった。今回作成した新システムでは、独自の相互作用と粒子を作成することでそれらの課題を解決した。本発表では、新システムの開発状況について報告する。

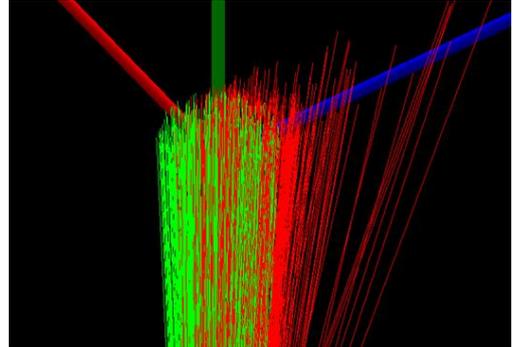


図 1 開発途中のシミュレーションプログラムの出力例 (図下部で偏光用レーザーを照射した場合。黄緑は⁴⁰Caの飛跡、赤は⁴⁸Caの飛跡を表している。)

E-p02

Axion 探索実験に向けた共振空洞-アンテナ系の制御プログラムの開発

福井大工 東北大 RCNS^A 東北大 ELPH^B

村松佳樹 中川闕輝 小川泉 岸本康宏^A 時安敦史^B

Development of a Programs to control the system between Cavity and Antenna for the Axion Search Experiment

Fac. of Eng., Univ. of Fukui; RCNS, Tohoku Univ.^A; ELPH, Tohoku Univ.^B

Y. Muramatsu, T. Nakagawa, I. Ogawa, Y.Kishimoto^A, A.Tokiyasu^B,

暗黒物質は、宇宙の大部分の質量を占めると考えられており未発見である。暗黒物質の正体の有力な候補のうちの1つとして Axion がある。Axion は逆プリマコフ効果により、強磁場中で光子へと転換される。我々の研究グループでは、強磁場中の共振空洞を用い、共振周波数を変化させながら転換光子を検出することにより Axion の発見を目指している。

以下に Axion のエネルギー強度に関する式を示す。

$$P_a = 7.7 \times 10^{-23} \text{W} \left(\frac{V}{136} \right) \left(\frac{B}{7.5T} \right)^2 \left(\frac{C}{0.4} \right) \times \left(\frac{g_V}{0.36} \right)^2 \left(\frac{\rho_a}{0.45 \text{ GeV/cc}} \right) (f_a) (Q)$$

実験においては、共振空洞からアンテナを経由してパワーを取り出し、計測する必要がある。この式で重要なのは Axion 質量 f_a に共振した際の共振周波数 f_c と Q 値であり、これらは共振空洞-アンテナ間の結合強度によって変化する。長期測定においては、共振周波数の変化の度に結合強度を測定、評価し必要に応じて結合強度を再調整する必要があり、私は、一連の制御・測定・評価プログラムの開発を行っている。本講演ではプログラムの開発状況について述べる。

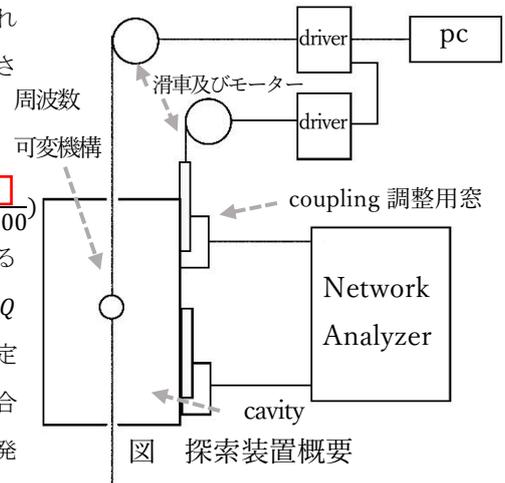


図 探索装置概要

アクシオン探索実験用制御プログラムの開発 -S パラメータからの Q 値および coupling の導出-

福井大工 東北大ニュートリノセ^A 東北大 ELPH^B

中川闘暉, 村松佳樹, 小川泉, 岸本康宏^A, 時安敦史^B

Development of control program for the dark matter axion search experiment “Derivation of Quality factor and coupling constant from Scattering parameters”

Fac. Of Eng., Univ. of Fukui; RCNS, Tohoku Univ.^A, ELPH, Tohoku Univ.^B

T. Nakagawa, Y. Muramatsu, I. Ogawa, Y. Kishimoto^A, A. Tokiyasu^B

宇宙の組成は通常の物質が 5%、暗黒物質が 27%、ダークエネルギーが 68%と考えられており、暗黒物質の正体は未解明である。この暗黒物質の有力候補のひとつとして素粒子物理学で存在が予言されているアクシオンがある。アクシオンは強磁場中で逆プリマコフ効果により、アクシオン質量に対応した周波数を持つ光子に転換される。共振空洞の共振周波数を適宜変更して測定を繰り返すことによりアクシオンを探索する。

共振空洞内でアクシオンから変換されるパワーには様々なパラメータが関係するが、アクシオン探索実験で主として調整するものに共振周波数と Q 値がある。共振周波数は適宜変化させながら実験を進めるものであるが、Q 値はその度に変化してしまうのでアンテナとの coupling を調整することにより最適化する必要がある。

本研究では、福井大学で行っている共振空洞の自動校正制御プログラム開発のために、ネットワークアナライザを用いて測定した共振空洞の S パラメータから Q 値および coupling を導出するプログラムの開発を行っている。また、プログラムを試験できるような共振空洞の模擬装置の製作も行っている。本講演ではその開発状況について報告する。

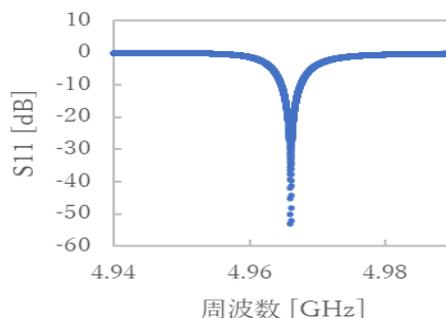


図: S11 パラメータの周波数特性の測定データの例
(共振周波数: 4.966GHz, Q: 580)

稀現象探索実験における機械学習での低バックグラウンド環境の実現

福井大工 丹羽雄大, 小川泉, 戸澤理詞, 尾関昂志

Low Background Environment using Machine Learning for the Rare Event Search Experiments

Faculty. of Eng., Univ. of Fukui, Y. Niwa, I. Ogawa, M. Tozawa, K. Ozeki

宇宙・素粒子物理学上の問題を解明する研究として二重 β 崩壊($0\nu\beta\beta$ 崩壊)探索実験及びダークマター探索が挙げられる。我々のグループで検出器として利用している CaF_2 シンチレータはダークマターの候補の一つである WIMPs とのスピンの依存する反応断面積が大きい原子核である ^{19}F を含んでいる。ダークマター探索では WIMPs と原子核反跳した ^{19}F を検出する。 $0\nu\beta\beta$ 崩壊探索実験(CANDLES 実験)では、 ^{48}Ca によるニュートリノを放出しない探索を目的とした研究で CaF_2 シンチレータが用いられている。一方で、近年ではさまざまな分野に AI の機械学習が取り入れはじめており、宇宙・素粒子物理学の分野でも適用が始まっている。

稀現象探索実験では、低バックグラウンド(BG)環境での観測が必要となる。その一環として、関心イベントと BG となる信号との間で弁別を行うことで、低 BG 環境の実現を目指している。先行研究により、 CaF_2 シンチレータでは入射粒子により波形が異なることがわかっている。本研究では昨年に引き続き信号弁別に機械学習を用いる試みを行なっている。 α 線、 β 線、 γ 線、原子核反跳の信号をそれぞれ別々に測定して、データを機械学習として学習、テストさせる。また、去年からの改善点としてモンテカルロシミュレーションをもとに作成した疑似的な信号波形(右図)を学習させることも行った。 $0\nu\beta\beta$ 崩壊探索実験では β 線と α 線の間で、ダークマター探索では原子核反跳と β/γ 線との間で信号波形の弁別を行う。先行研究での手法との比較・評価も行う。その研究状況について報告する。

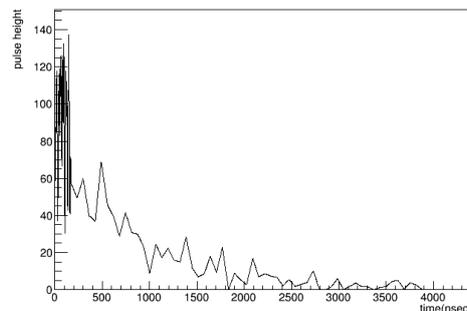


図: モンテカルロシミュレーションをもとに作成した α 線信号波形

E-p05

大型ハドロン衝突型加速器による W ボソン質量測定シミュレーション

福井大工 前山 滉太郎, 吉田 拓生

Simulation for W boson mass measurement with Large Hadron Collider

Fac. of Eng., Univ. of Fukui K. Maeyama, T. Yoshida

今年の4月に報告されたWボソン質量の高精度測定の結果[1]からWボソンの質量が現在の標準理論による質量に比べ少しだけ大きいことが判明した。このことが正しいのであれば、そこには現在の標準理論にはない未知の粒子や理論が存在すると考えられる。Wボソンの質量測定では、図のように加速器を用いた粒子の衝突によってWボソンを発生させ、その崩壊によって生じた電子及びニュートリノの運動量からその質量を求める。しかし、衝突実験において生じる粒子はWボソン以外のバックグラウンドとなる粒子が圧倒的に多く、それらの粒子の崩壊からも電子やニュートリノが発生する。またニュートリノは検出器ではほとんど観測できないため、ニュートリノの運動量は、観測可能な粒子の運動量から保存則により推測しなければならない。その結果Wボソンの質量計算に様々な誤差が生じるため、そのデータ解析においてはバックグラウンドを減らし、測定の精度を向上させる工夫をする必要がある。

本研究では高エネルギー粒子の衝突反応をシミュレートするプログラム「PYTHIA」を用いて、欧州素粒子物理学研究機構(CERN)の大型ハドロン衝突型加速器 Large Hadron Collider (LHC) を想定した陽子・陽子衝突反応をシミュレートする。衝突によって生じる電子に対して運動学的な制限(運動量に対するカット等)をかけることで、バックグラウンドがどの程度減少し、それによってWボソン質量の精度がどの程度向上するのかを調べた。本公演ではその結果を報告する。

[1] CDF Collaboration *et al.*, Science 376, 170-176 (2022).

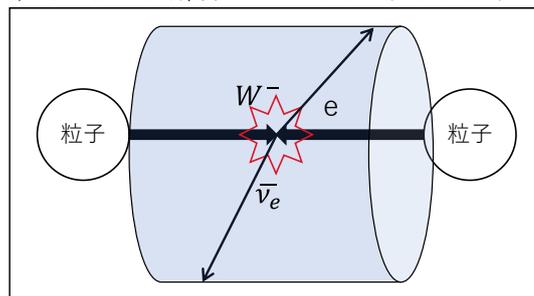


図: 衝突型加速器実験において発生するWボソンと崩壊によって生じる電子及びニュートリノ

E-p06

ニュートリノ崩壊光子検出器校正用遠赤外分子レーザーのビームモニター装置の開発

福井大工, 中部大工^A, 福井大遠赤セ^B, 筑波大数理^C
王生尚志, 前山滉太郎, 吉田拓生, 中山和也^A, 古屋岳^B, 金信弘^C
武内勇司^C, 飯田崇史^C, 他 COBAND 実験メンバー

Development of beam monitors for the FIR molecular laser used to calibrate neutrino-decay-photon detectors

Univ. of Fukui, Chubu Univ.^A, FIR Univ. of Fukui^B, Univ. of Tsukuba^C
N.Ikurumi, K.Maeyama, T. Yoshida, K. Nakayama^A, T. Furuya^B, S.H. Kim^C
Y. Takeuchi^C, T.Iida^C, for COBAND collaboration

ニュートリノは現在では質量を持つことが知られているが、その質量はいまだ正確には測定されていない。質量の大きいニュートリノは、遠赤外領域の波長を持つニュートリノ崩壊光子を放出して質量の小さいニュートリノへと2体崩壊することが予測されている。このニュートリノ崩壊光子のエネルギーを測定すれば、ニュートリノの質量を決定できるが、ニュートリノの崩壊確率は極めて小さく、少量のニュートリノではニュートリノ崩壊光子の検出は難しい。そこで我々は、ニュートリノ崩壊光子を検出するために、宇宙に大量に存在すると考えられている宇宙背景ニュートリノを利用する実験、COBAND(Cosmic Background Neutrino Decay)実験を計画し、ニュートリノ崩壊光子のエネルギーを正確に測定するために、超伝導トンネル接合素子を用いた検出器の開発を行っている。しかし、その開発を進めるためにはニュートリノ崩壊光子と同じ遠赤外領域の光源を用いて検出器の校正を行う必要があり、その光源として福井大学遠赤外領域開発研究センターの遠赤外分子レーザーの利用を考えている。今回は、このレーザーのビームプロファイルとビームパワーを同時に測定することができるモニター装置の開発について講演を行う。



図:サーモカメラによるビームモニター

離散ハイゼンベルグ群の自己同型群の構造

福井大工 古居泰人

Group Structure of Automorphism of Discrete Heisenberg Group

Department of Applied Physics, University of Fukui Taito Furui

正準量子化と同等であるが、異なる量子化の手法として Weyl 量子化がある。Weyl 量子化は、群構造の特性を用いた量子化であり、位相点作用素を古典的なハミルトニアンにかけて積分することで、正準量子化されたハミルトニアン作用素に変換できるというものである。連続の場合では、位相点作用素が連続ハイゼンベルグ群の自己同型群を用いて群論的に構成できることが知られており、同様の問題を離散格子上で考えると、離散ハイゼンベルグ群の自己同型群 T_{pN} が重要であると考えられる。

これまでの研究から奇数格子の場合、群の拡大と splitting を用いてると離散ハイゼンベルグ群の自己同型群 T_{pN} には準同型切断が存在し、自己同型群の構造は、 $T_{pN} \cong \Gamma_N \rtimes S_{pN}$ と表すことができると分かっていた。ここで、 $\Gamma_N \cong \mathbb{Z}_N \times \mathbb{Z}_N$ で \mathbb{Z}_N は N 次剰余群であり、 S_{pN} は離散シンプレクティブ群である。同様の方法では $N = 4k$ の場合について、準同型切断が存在しないことが分かっている。

本研究では、偶数格子上の $N = 2(2k + 1)$ の場合について、群の拡大と splitting を用いて調べた。研究の成果として、 $N = 2(2k + 1)$ の場合についても同様に、自己同型群 T_{pN} の準同型切断を具体的に定めることができたため、自己同型群 T_{pN} の構造は、 $T_{pN} \cong \Gamma_N \rtimes S_{pN}$ と表すことができると分かった。