

令和元年6月20日現在

機関番号：34412

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2015～2018

課題番号：15H03852

研究課題名(和文)炭素質材料への金属のインターカレーション機構の解明と次世代二次電池負極材料の開発

研究課題名(英文) Investigation of Mechanism of Intercalation of Metals into Carbon-related Materials and Application to Next Generation Batteries

研究代表者

川口 雅之 (Kawaguchi, Masayuki)

大阪電気通信大学・工学部・教授

研究者番号：10268295

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,100,000円

研究成果の概要(和文)：ホストとなる炭素質材料のホウ素/炭素/窒素(B/C/N)、ホウ素/炭素(B/C)材料、およびグラフェンライクグラファイト(GLG)を作製した。B/C材料に気相法でCaの蒸気をインターカレートさせることに成功した。Liイオン二次電池負極としてB/C材料がグラファイトより大きな可逆容量(最大600 mAh/g)を、Naイオン二次電池負極としてB/C材料およびGLGが高い可逆容量(最大300 mAh/g)を示し、ホスト材料の重要性が確認できた。材料のX線吸収端構造から、ホスト材料の電子構造の中でも伝導帯の電子状態が金属のインターカレーションに大きく影響しているという機構を考えることができた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

炭素質材料の一種であるホウ素/炭素(B/C)材料に気相法でカルシウムをインターカレートさせることに成功し、本研究で提案しているインターカレーション機構から説明したことは学術的に意義があり、電気化学インターカレーションにつながる大きな成果と考えている。リチウムイオンおよびナトリウムイオン二次電池負極として、炭素質材料であるB/C材料およびグラフェンライクグラファイトがグラファイトより大きな可逆容量を示し、今回提案のインターカレーション機構で説明したことは学術的にも社会的にも意義が大きいと考えている。

研究成果の概要(英文)：We have prepared B/C and B/C/N materials as the host materials by using the CVD method and graphene-like graphite (GLG) by the pyrolysis of graphite oxide. Li and Na were intercalated into the B/C materials as the anodes of Li and Na ion batteries by the electrochemical method and resulted in the reversible capacities of 600 mAh/g and 300 mAh/g, respectively. We succeeded in intercalation of Ca into B/C materials by chemical reaction of Ca vapor with the B/C materials, which is the first example of Ca intercalation into bulk of the graphite-like layered materials with the vapor phase reaction. XANES spectra suggested that boron in B/C materials lowered the bottom of conduction bands, which explained the enhancement of intercalation of alkali metals and divalent metals into the host materials.

We conclude that the B/C materials and the GLG are useful host materials for the intercalation of alkali metals and divalent metals.

研究分野：化学

キーワード：二次電池 炭素質材料 インターカレーション 機構解明 負極材料

## 様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

本研究では、ホストである炭素質材料に対するゲスト金属の挿入反応（インターカレーション）の機構を解明し、次世代エネルギー貯蔵用二次電池の負極材料を開発することを目的とした。グラファイト類似の層状構造でホウ素/炭素/窒素から成る B/C/N 材料、および低結晶性カーボンを本研究では炭素質材料と呼び、グラファイトとは異なる特性が期待できる。本研究では、グラファイトにインターカレートされにくいナトリウム (Na)、マグネシウム (Mg)、カルシウム (Ca) と炭素質材料の反応を基に、炭素質材料の電子親和力とゲスト金属のイオン化エネルギーとの関連を調べ、インターカレーション機構の解明を行った。さらにこの反応を利用して、リチウムイオン二次電池に替わる次世代の高容量二次電池に使われる負極材料の開発を目指した。

B/C/N 材料に関しては、平成元年頃から本格的に研究が開始されたが、現在は本申請の代表者らを含め世界でも数箇所の研究機関のみが作製しているだけで、その点で特色のある研究と言える。代表者である川口らの研究の特徴として、独自に開発した合成装置を有すること、得られた化合物の解析やインターカレーションの手法を熟知していることが挙げられる。川口らは平成2年から B/C/N 材料の作製と物性評価を始め、これまで BC<sub>2</sub>N、BC<sub>3</sub>N、BC<sub>6</sub>N 組成の材料などの作製に成功している。

川口らは、グラファイトにはインターカレートされにくい Na を BC<sub>2</sub>N 組成の材料にインターカレートさせ層間化合物を作製することに成功し、Na イオン二次電池負極への応用の可能性を指摘した。また、グラファイトにインターカレートされた例のない Mg を気相法で化学的に BC<sub>2</sub>N 組成の材料にインターカレートさせ、層間化合物を作製することに成功した { M. Kawaguchi, et al., Chem. Comm., 48, 6897-6899(2012) }。この研究は、B/C/N 材料を含めた炭素質材料に Mg がインターカレートされた最初の例であり、ホスト材料の持つ大きな電子親和力と金属のイオン化エネルギーとの関連からインターカレーションの可能性を示唆した点が注目された。

これまでに Na を電気化学的に B/C/N 材料にインターカレートさせた場合、負極単独で最大 200 mAh/g の容量を得ているが、実用のためには Li イオン二次電池負極の 372 mAh/g 以上の容量を目指す必要がある。また、二価金属である Mg やカルシウム (Ca) が電気化学的にホスト材料にインターカレートされ二次電池に応用されれば、Li や Na の二倍の容量になることが期待される。上記のように B/C/N 材料に Mg を化学的にインターカレートさせることに成功しているが、電気化学的インターカレーションには未だ成功していない。これらの状況を考えると、現在実施中の研究をさらに発展させる意義があると考えた。

### 2. 研究の目的

以上の背景から、本研究では以下の3点を達成目標とした。

- 1) ホスト材料である炭素質材料とゲスト金属のインターカレーション機構を解明する。
- 2) Na イオン二次電池負極として、Li イオン二次電池負極の容量 (372 mAh/g) 以上を達成する。
- 3) 二価金属である Mg や Ca を電気化学的に炭素質材料にインターカレートさせる。

目標1) は、エネルギー貯蔵用二次電池負極材料の開発を目指した目標2) や3) を実現するために不可欠な課題である。代表者の川口らは、BC<sub>2</sub>N および BC<sub>6</sub>N 組成の材料を作製し、気相法と電気化学法を用いて、グラファイトにインターカレートされにくい Na を BC<sub>2</sub>N にインターカレートさせることに成功し、X線吸収分光分析測定により、BC<sub>2</sub>N の非占有 \*軌道(伝導帯)の最低エネルギーがグラファイトより低いことが原因していると考察した。その後、グラファイトへのインターカレーションの例のない Mg を気相法により B/C/N 材料にインターカレートさせることに成功し、ホスト材料の電子親和力とゲスト金属のイオン化エネルギーの関係から説明できると推定した { Chem. Comm., 48, 6897-6899(2012) }。ただ、それ以外の可能性、例えばホスト材料の B とゲストの Mg との局所的な相互作用についても検証するなど、今後は様々な可能性を考慮しインターカレーション機構を解明することが必要であると考えた。

次に目標2) に関して、B/C/N 材料への Na の電気化学的インターカレーションで負極単体の可逆容量として約 200 mAh/g まで向上させることに成功していたが、当該研究期間中に B/C/N の組成および結晶性の制御により、Li イオン二次電池の理論容量である 372 mAh/g 以上を目指すことを目標とした。今回の申請で分担者になった松尾は、酸化黒鉛を還元して得た低結晶性カーボンに Na を電気化学的にインターカレートさせることに成功しており、200 mAh/g 以上の容量を得ているため、本研究の分担者として入ることにより、広い範囲の炭素質材料を比較・検討できることを期待した。

最後に目標3) に関して、上述したように Mg を気相法で B/C/N 材料にインターカレートさせることに成功しているが、電気化学法でインターカレートさせることに成功していない。また、同様に二価金属である Ca についても電気化学的にインターカレートさせることを目標とした。これらの二価金属の電気化学的インターカレーションが可能となれば、次世代の Mg あるいは Ca イオン二次電池用負極の開発に向けてのブレークスルーとなることが期待できる。

### 3. 研究の方法

研究代表者の川口、分担者の榎本 (大阪電通大)、村松と松尾 (兵庫県立大)、および協力者

の大学院生と Hérold (仏 CNRS) は連携して、炭素質材料の作製と 1 族・2 族金属のインターカレーションを実施し、層間化合物の電気特性と電子状態を調べた。これらの結果を基に、インターカレーション機構の解明を行うと共に、Na、Mg、Ca イオン二次電池という次世代二次電池への応用を検討し、代表者の川口が研究全体を下記 (4. 研究成果) に示す通り総括した。

まず、炭素質材料 (ホスト) の作製については、代表者の川口と大学院生は、大阪電通大の化学気相蒸着 (CVD) 装置を用いて、組成の異なる B/C/N 材料およびホウ素/炭素 (B/C) 材料の作製を行った。本装置は、このホスト材料の作製のために特別に整備したものである。一方、分担者の松尾は、兵庫県立大にて作製した酸化黒鉛を還元させて低結晶性カーボンを作製した。

次に、層間化合物の作製については、川口、大学院生および松尾はホスト材料である炭素質材料に関して、気相法および電気化学法で Na、Mg、Ca などの 1 族あるいは 2 族金属のインターカレーションを行い、層間化合物を作製した。電気化学法では、大阪電通大に既存の装置および本研究で購入した電気化学装置を用い、定電流法およびサイクリックボルタメトリー (CV) による充放電測定を行い、二次電池負極特性を評価した。また、研究協力者である仏 CNRS, Nancy の Hérold らは、Li や Na の低融点金属と Ca のような比較的高融点金属の合金を作製し、高融点の Ca などをグラファイトにインターカレートさせる手法 (以下、液体合金法と呼ぶ) を用いて B/C/N 材料へのインターカレーションを行い、機構解明に役立てた。

ホストである炭素質材料の電気特性および電子状態の評価については以下のように分担して行った。分担者の榎本、川口および大学院生は大阪電通大に既存の評価装置で、電気特性測定を行い、電気伝導度の温度依存性を調べた。村松、川口および大学院生は、ニュースバル放射光施設およびカリフォルニアの Advanced Light Source (ALS) で X 線吸収分光分析 (XAS) 測定を行い、電子構造を調べた。なお当初の目的の一つに入れていた『層間化合物の電気特性と電子状態の評価』については、層間化合物が空気中で吸湿・分解しやすいため、検討は試みたが、ホスト材料と比較するまでのデータ取得には至らなかった。

#### 4. 研究成果

本研究は、ホストである炭素質材料に対するゲスト金属の挿入反応 (インターカレーション) の機構を解明し、次世代エネルギー貯蔵用二次電池の負極材料を開発することを目的としている。ここで炭素質材料とは、グラファイト類似の層状構造でホウ素/炭素/窒素から成る B/C/N 材料、および低結晶性カーボンを示している。以下、(1)ホスト材料の作製と電気特性、(2)ゲスト金属のインターカレーション、(3)二次電池負極特性、(4)電子構造とインターカレーションの関係、の順に記述する。

- (1) ホスト材料の作製と電気特性：代表者の川口と大学院生は大阪電通大において、化学気相蒸着 (CVD) 装置を用いて、流量・温度を調整することにより、組成の異なる BC<sub>x</sub>N<sub>y</sub> 材料 (x=2.2~6.5, y=0.76~1.0) や BC<sub>x</sub> 材料 (x=7.9~27) の作製に成功した。研究分担者の榎本と大学院生は、これらの材料の ab 軸方向の電気伝導度とその温度依存性を調べ、B/C/N 材料の室温電気抵抗率は組成によって  $4.0 \times 10^{-3} \text{ cm} \sim 2.5 \times 10^{-2} \text{ cm}$  の範囲にあり、温度上昇に伴い大きくなるという半導体的挙動を示すことを確認した。また、研究協力者の Hérold らはフランス CNRS で核マイクロプローブ (Nuclear Micro-Probe: NMP) 法で B/C/N 材料の組成分析を行い、大阪電通大で実施した化学法 (B はアルカリ溶融して ICP 発光分析、CHN は通常の燃焼法) で測定した値と比較的類似 (ESCA 分析では組成分析は困難) していることを確認した。一方、研究分担者の松尾は兵庫県立大学において、酸化黒鉛の熱分解によりグラフェンライクグラファイト (GLG) を作製した。
- (2) ゲスト金属のインターカレーション：川口と大学院生はホストである B/C 材料に気相法で Ca の蒸気を反応させ、インターカレートさせることに成功した。これは、グラファイト様層状化合物のバルクに気相法で Ca をインターカレートさせることに初めて成功した例であり (5. 主な発表論文等 [雑誌論文] 2)、電気化学インターカレーションにつながる成果と考えている。次に、研究協力者の Hérold (フランス Nancy) らと共同で、Li や Na の低融点金属と Ca や Mg のような高融点金属の合金を用いた液体合金法でインターカレーション反応を行い、さらに NMP 法で表面からバルクまでの組成分析を行い、バルクまでこれらの金属が含まれていることを確認した。
- (3) 二次電池負極特性：Li イオンの電気化学インターカレーションを行い、Li イオン二次電池負極として B/C 材料がグラファイト (理論容量 372 mAh/g) より可逆容量が大きく (最大 600 mAh/g)、インピーダンス測定で B/C 材料の電荷移動抵抗がグラファイトより小さいことを確認した。また、Na イオンの電気化学インターカレーションを行い、Na イオン二次電池負極として B/C 材料および GLG が高い可逆容量 (最大 300 mAh/g) を示し、目標値の 372 mAh/g には及ばなかったものの、ホスト材料の重要性が確認できた (5. 主な発表論文等 [雑誌論文] 3, 4)。一方、松尾は、酸化黒鉛の熱還元で得た GLG がグラファイトより可逆容量が大きく、グラフェン類似の挙動を示し、Li のインターカレーションが高電位からステージ構造を形成して起こることを見出した。このような高電位からの Li や Na の電気化学インターカレーションは、B/C 材料や B/C/N 材料をホストに用いても観察され、固体電解質界面 (SEI) の形成がなくても溶媒和されないイオンがインターカレートされることがわかった。なお、大きな目標であった Mg と Ca の電気化学的にインターカレーションについては、いくつかの電解液を用いて検討したが、サイクリックボルタモグラムでわず

に酸化還元のパークは観察されるものの、大きな容量を示すまでには至っていない。これは、 $Mg^{2+}$ や $Ca^{2+}$ イオンの溶媒和エネルギーが大きく、インターカレーションの妨げになっているためと考えられる。今後は、これまでの知見を基に、対イオン（アニオン）や溶媒の種類を変更し検討することを考えている。

- (4) 電子構造とインターカレーションの関係：研究分担者の村松、川口と大学院生は、軟 X 線吸収分光法 (XAS) を用いて炭素質材料の電子状態について測定・解析し、インターカレーションにおけるホスト材料の役割を考察した。XAS を用いた材料の X 線吸収端構造 (XANES) の観察の結果、B/C 材料や B/C/N 材料の伝導帯の底 (低エネルギー部分) にはグラファイトには見られないピークが観察され、その要因が同一網面内にあるホウ素と炭素が結合してできる混成軌道の LUMO の低エネルギーシフトのためであることを見出した (5 . 主な発表論文等 [雑誌論文] 1 )。これは DV-X 分子軌道計算によっても支持される結果であり、ゲスト金属からホスト材料への電子供与を容易にし、インターカレーションを促進していると考えられる。この結果は、インターカレーションの機構をホスト材料の電子構造から説明するという一つの側面を示したという点で意義がある。さらに、電気化学法で得られた層間化合物について、岡山大学の後藤らとの共同研究で、固体 NMR 測定を行うことにより、Li が B/C 材料中のホウ素に電子を供与し相互作用していることを確認できた。この電荷移動の程度を詳細に調べれば、インターカレーション機構をより厳密に解明することにつながると考えている。一方、研究分担者の松尾は、酸化黒鉛の熱還元で得た炭素質材料に対して種々の分光測定を行い、炭素面内に酸素が導入された構造モデルを提案した。これらの結果より、現時点では、B/C 材料と GLG がアルカリ金属や 2 族金属をインターカレートする有望なホスト材料になると考えている。

以上の成果に関して、以下に示す論文 4 件・国際会議発表 (招待 4 件、一般 14 件)・国内会議発表 (招待 3 件、一般 17 件)・図書 6 件で発表し公表した。

#### 5 . 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 4 件)

- 1 ) 石川、村松、川口 : 「B/C および B/C/N 材料の軟 X 線吸収端構造と第一原理計算を用いた電子状態の解析」炭素, No.287, 67-73(2019). 査読あり
- 2 ) H. Ishikawa, H. Higuchi, M. Kawaguchi : “ Intercalation of Calcium into a Graphite-like Layered Material ”, Chem. Lett., 47, 891-893(2018). DOI: 10.1246/cl.180236 査読あり
- 3 ) Qian Cheng, Yasuharu Okamoto, Noriyuki Tamura, Masayoshi Tsuji, Shunya Maruyama, Yoshiaki Matsuo : “ Graphene-Like-Graphite as Fast-Chargeable and High-Capacity Anode Materials for Lithium Ion Batteries ”, Sci. Rep., 7, 14782(2017). DOI: 10.1038/s41598-017-14504-8 査読あり
- 4 ) K. Yamada, H. Ishikawa, C. Kamiwaki, M. Kawaguchi : “ The Role of Boron in B/C/N and B/C Materials as an Anode of Sodium Ion Batteries ”, Electrochemistry, 83, 452-458(2015). 査読あり

[学会発表] (計 3 8 件)

- 1 ) M. Kawaguchi : “ Heteroatom-substituted Graphitic Carbon Materials for Use in Energy Storage ”, International Symposium on Graphitic Carbon Materials for Energy Storage, Himeji, Japan, March 25, 2019 (**Invited Lecture**).
- 2 ) 川口雅之 : 気相法による B/C/N および B/C 材料の作製と二次電池への応用 (招待講演) : 炭素材料学会 2019 年 1 月セミナー (東京 日本教育会館 2019.1.18)
- 3 ) 高下裕佳子、川口雅之 : 「リチウムイオン二次電池の負極材料としてのホウ素/炭素材料の電気化学評価」 第 45 回炭素材料学会年会 (名古屋工業大学 2018.12.5-7)
- 4 ) M. Kawaguchi, S. Sugisaki, Y. Kouge, K. Gotoh : “ Electrochemical Behaviors of Lithium Intercalation/de-intercalation into/out-of Boron/carbon Materials as Anodes of LIBs ”, Carbon 2018, Madrid, Spain, July 1-6, 2018 (**Keynote Lecture**).
- 5 ) H. Ishikawa, M. Kawaguchi, Y. Muramatsu : “ Electronic State of B/C/N Materials Analyzed by Soft X-ray Spectroscopy and First-principles Calculation ”, The 6th German-Japanese Joint Symposium on Carbon Materials, Abstracts p.10, Osaka Electro-Communication University, Osaka, Japan, November 9-11, 2017.
- 6 ) M. Kawaguchi : “ Heteroatom-substituted Carbon Alloys for Use in Energy Storage and Conversion Systems ”, 2017 French-Japanese Seminar on Carbon Materials, Université Claude Bernard Lyon 1, Lyon, France, Oct. 26-27, 2017 (**Invited Lecture**).
- 7 ) M. Irie, N. Yoshida, and H. Enomoto : “ Fabrication and Characterization of PEI/TaS<sub>2</sub> LbL Multilayer Films ”, The 7th Annual World Congress of Nano Science and Technology-2017 (Nano S&T-2017), Fukuoka, Japan, October 24-26, 2017.
- 8 ) M. Kawaguchi, K. Yamada, K. Gotoh : “ Electrochemical Intercalation of Sodium into B/C/N and B/C Materials as Anodes of Sodium Ion Batteries ”, 7th International Conference on Carbon for Energy Storage and Environment Protection (CESEP '17), Abstracts OLi1

(p.145), Université Lumière-Lyon-II, Lyon, France, Oct. 23-26, 2017.

9) M. Awai, M. Kawaguchi: "Preparation of B/C and B/C/N Nanosheets Using CVD Method", Carbon 2017, Poster Number 386, Melbourne Convention Centre, Victoria, Australia, July 23-July 28, 2017.

10) T. Kitai, M. Kawaguchi: "Electrochemical Properties of HF-treated Boron/carbon/nitrogen Materials as Anodes of LIBs", Carbon 2017, Poster Number 473, Melbourne Convention Centre, Victoria, Australia, July 23-July 28, 2017.

11) S. Sugisaki, M. Kawaguchi: "Electrochemical Properties of Boron/carbon Materials as Anodes of LIBs", Carbon 2017, Poster Number 569, Melbourne Convention Centre, Victoria, Australia, July 23-28, 2017.

12) M. Kawaguchi, H. Higuchi, H. Ishikawa: "Intercalation of Calcium into Boron/Carbon Materials Based on the Graphite Network", 19th International Symposium on Intercalation Compounds (ISIC19), Abstracts 409 (p.108), Hotel Domus Pacis Assisi, Assisi, Italy, May 28-June 1, 2017.

13) H. Ishikawa, M. Kawaguchi, M. Fauchard, S. Cahen, C. Hérold, P. Berger: "Intercalation of Calcium into Boron/carbon/nitrogen Materials Based on the Graphite Network by Liquid Alloy Method", 19th International Symposium on Intercalation Compounds, Abstracts 5P3 (p.132), Hotel Domus Pacis Assisi, Assisi, Italy, May 28-June 1, 2017.

14) H. Ishikawa, M. Kawaguchi, M. Fauchard, S. Cahen, C. Hérold: "Intercalation of calcium into Boron/carbon/nitrogen Materials Based on the Graphite Network" 2016 Japanese - French Seminar on Carbon Materials, Abstract p12, Neyagawa, Japan, September 9-10, 2016.

15) M. Kawaguchi, K. Yamada and T. Kitai: "Electrochemical Properties of HF-Treated B/C/N Materials as The Anode of Lithium-ion Batteries" "CARBON 2016", 01-2, Pennsylvania, USA, July 10-15, 2016.

16) H. Ishikawa, M. Kawaguchi, H. Enomoto, and Y. Muramatsu: "Relation Among Composition, Crystallinity and Specific Resistance of B/C/N Materials" "CARBON 2016", P2-72, Pennsylvania, USA, July 10-15, 2016.

17) 川口雅之: ヘテロ原子置換型カーボンアロイの作製とエネルギー貯蔵・変換材料としての応用(招待講演): 電気化学会電解科学技術委員会 第26回電解プロセス研究会及び第97回委員会(京都大学 本部キャンパス 2015.9.18)

18) H. Ishikawa, M. Kawaguchi, M. Fauchard, S. Cahen, C. Hérold: "Intercalation of Magnesium into Boron/carbon/nitrogen Materials Based on the Graphite Network" 5th German- Japan Joint Symposium "Development and Technology of Carbon Materials", Abstract p25, Freiberg, Germany, July 20-21, 2015.

19) M. Kawaguchi: "Carbon Alloys in Energy Systems" Carbon 2015, Dresden, Germany, July 12-July 17, 2015 (Plenary Lecture).

20) M. Kawaguchi, K. Yamada, C. Kamiwaki, H. Ishikawa: "The Role of Boron in Boron/carbon Materials as Anodes of Lithium and Sodium Ion Batteries" Carbon 2015, Abstracts: Lectures p130, Dresden, Germany, July 12-July 17, 2015.

21) H. Ishikawa, M. Kawaguchi: "Intercalation of Magnesium and Calcium into Boron/carbon/nitrogen Materials Based on the Graphite Network by Using Vapor Phase Reaction" Carbon 2015, Abstracts: Posters p271, Dresden, Germany, July 12-July 17, 2015.

22) 川口雅之: ヘテロ原子置換型カーボンアロイの作製とエネルギー分野への応用(招待講演): 北関東地区化学技術懇話会(群馬大学 桐生キャンパス 2015.5.1)

その他、国内発表16件

[図書](計6件)

1) 川口雅之(分担執筆): 書名; 最新 实用真空技術総覧 全1096ページ、2019年2月、(株)エヌ・ティー・エス 分担執筆部分; 第7編, 第4節, pp.1024-1026「最近のグラファイト、グラフェンの新展開」

2) 川口雅之(編集および分担執筆): 書名; 炭素材料科学の進展 学振第117委員会 70周年記念出版、全196ページ、2018年10月、日本学術振興会 炭素材料第117委員会、分担執筆部分; 第2章, pp.55-60「B/C/N系層状化合物の作製とエネルギー貯蔵・変換材料としての応用」

3) 松尾吉晃(分担執筆): 書名; 炭素材料科学の進展 学振第117委員会 70周年記念出版、全196ページ、2018年10月、日本学術振興会 炭素材料第117委員会、分担執筆部分; 第4章, pp.105-106「グラフェンライクグラファイトの合成と充放電特性」

4) 川口雅之(分担執筆): 書名; 次世代電池用電極材料の高エネルギー密度、高出力化 全602ページ、2017年11月、情報技術協会 分担執筆部分; 第6章第5節, pp.234-241「ヘテロ原子置換型炭素材料を用いたリチウムおよびナトリウムイオン二次電池負極の高容量化と安定性」

5) 川口雅之(分担執筆): 書名; 全固体電池のイオン伝導性向上技術と材料、製造プロセスの

開発、全 475 ページ、2017 年 2 月、技術情報協会 分担執筆部分；第 7 章第 7 節, pp.298-307  
「ヘテロ原子置換型カーボンアロイの作製技術とLi およびNa イオン二次電池負極材への応用」  
6) M. Kawaguchi, K. Yamada, H. Ishikawa (分担執筆) : “ Intercalation Chemistry and  
Application of B/C/N Materials to Secondary Batteries ” in New Fluorinated Carbons:  
Fundamentals and Applications, Chapter 11, p.261-281(2016), edited by O. V. Boltalina,  
T. Nakajima, Elsevier.

〔産業財産権〕

出願状況 (計 0 件)

取得状況 (計 0 件)

〔その他〕

ホームページ等

大阪電気通信大学 川口研究室 :

<http://www.osakac.ac.jp/labs/kawaguti/>

大阪電気通信大学 教員情報データベース :

<https://research.osakac.ac.jp/index.php?%E5%B7%9D%E5%8F%A3%E3%80%80%E9%9B%85%E4%B9%8B>

## 6 . 研究組織

### (1)研究分担者

研究分担者氏名：榎本 博行

ローマ字氏名：Hiroyuki Enomoto

所属研究機関名：大阪電気通信大学

部局名：工学部

職名：教授

研究者番号 (8 桁) : 10213563

研究分担者氏名：松尾 吉晃

ローマ字氏名：Yoshiaki Matsuo

所属研究機関名：兵庫県立大学

部局名：工学研究科

職名：教授

研究者番号 (8 桁) : 20275308

研究分担者氏名：村松 康司

ローマ字氏名：Yasuji Muramatsu

所属研究機関名：兵庫県立大学

部局名：工学研究科

職名：教授

研究者番号 (8 桁) : 50343918

### (2)研究協力者

研究協力者氏名：Claire Hérold

ローマ字氏名：クレア エロルド

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。