

今後も継続していくことが重要であると考えている。これだけに止まらず、学部教育にも積極的に寄与することを考えている。従来は、個人に依頼された授業を実施する程度であったものを、できる限り学部側と教育の体系を議論しながら、さらに緊密に進めていくことが重要である。

4 研究活動と研究成果

4. 1 研究活動の現状

4. 1. 1 活動全体

資源化学研究所で実施されている研究活動を幾つかの側面から見ることにする。学術誌掲載論文や国際会議発表の件数(平成18年度～21年度)は以下の通りである。

学術誌掲載論文、国際会議発表、特許、書籍等の件数

項目・種目	平成18年度	平成19年度	平成20年度	平成21年度
学術誌掲載論文数	185	184	131	143
国際会議発表論文数	119	105	162	117
国内会議発表論文数	307	272	322	292
招待講演件数	88	86	89	75
各種研究・調査報告書件数	20	16	42	19
特許等の出願件数	38	36	32	19
特許等の取得件数	24	23	25	6
書籍出版件数	32	16	16	13

また、論文の引用回数が300を超えるものを挙げると、Nature, 386, 299-302 (1997) 1139回、Science, 272, 704-705 (1996) 858回、Science, 268, 1873-1875 (1995) 700回、J. Phys. Chem., 95, 3727-3730 (1991) 383回、J. Am. Chem. Soc., 116, 4832-4845 (1994) 375回などとなっており、各研究部門、研究施設ともに活発な研究を世界的な視野で展開している様子が伺える。基礎から応用に至る分野において国内外で高い評価を得ており、論文の数、質ともに世界の研究競争において最前線にあるといえる。白川英樹博士のノーベル化学賞の研究もその画期的な出来事の一つである。この研究評価がなされた時点から歳月は流れても、各部門における研究に対する情熱は衰えていないといえる。

研究活動の活発さは、受賞関係を見ても明らかである。

資源化学研究所の受賞一覧

平成 21 年度	平成 21 年度 日本化学会賞 平成 21 年度 BCSJ Award 平成 21 年度 第 24 回 日本化学会若い世代の特別講演会表彰 平成 21 年度 高分子学会賞 (科学) 平成 21 年度 高分子学会日立化成賞 平成 21 年度 日本液晶学会論文賞 (A 部門)
平成 20 年度	平成 20 年度 東レ科学技術賞 平成 20 年度 高分子科学功績賞 平成 20 年度 化学工学会 学会賞 (内藤雅喜記念賞) 平成 20 年度 第 8 回分離技術国際会議 (ICSST08) 論文賞 平成 20 年度 第 40 回 市村学術賞貢献賞 平成 20 年度 第 58 回 日本化学会進歩賞 平成 20 年度 MNC2008 優秀発表賞
平成 19 年度	平成 19 年度 化学工学会賞研究奨励賞 (實吉雅郎記念賞) 平成 19 年度 文部科学大臣表彰科学技術賞 (研究部門) 平成 19 年度 文部科学大臣表彰科学技術賞 (研究部門) 平成 19 年度 文部科学大臣表彰若手科学者賞
平成 18 年度	平成 18 年度 日本化学会賞 Arthur K. Doolittle Award Peter Mitchell Medal (European Bioenergetic Conference)

4. 1. 2 研究費

研究活動の活発さは、外部資金、科学研究費、受託研究費、奨学寄付金の獲得状況からも伺える。個々の研究が円滑に行えるだけの十分な資金を調達できている。平成 21 年度では、外部資金を含めた一部門の研究費の平均は不況とはいえ 8 千万円弱に達しており、研究者及び大学院学生の研究の更なる活性化につながっている。

科学研究費補助金の採択件数及び採択金額

項目・種目	平成 18 年度	平成 19 年度	平成 20 年度	平成 21 年度
科研費件数	58	60	54	55
科研費直接経費	404,410,000	411,610,000	346,160,000	355,148,000
科研費間接経費	65,190,000	70,200,000	60,635,658	72,720,000

共同研究費等の外部資金獲得件数と獲得金額

項目・種目	平成18年度	平成19年度	平成20年度	平成21年度
共同研究受入件数	26	32	36	24
共同研究受入金額	150,951,492	100,796,950	126,319,437	65,390,300
受託研究受入件数	16	16	21	18
受託研究受入金額	300,475,800	325,539,395	394,480,498	418,189,061
他の競争的資金受入件数	11	9	6	3
他の競争的資金受入金額	221,780,445	241,301,450	56,322,000	57,622,000
奨学寄附金受入件数	21	31	23	17
奨学寄附金受入金額	19,741,410	22,700,150	25,080,000	50,080,000

比較的潤沢な研究費や日本学術振興会等の資金を得て、ポスドク、客員研究員、産学官連携研究員などの研究員も多数採択（海外からの研究員 海外78名、日本101名）しており、研究推進の原動力となっている。

	平成18年度	平成19年度	平成20年度	平成21年度	計
海外	17	22	19	20	78
日本	28	22	26	25	101

4. 1. 3 各部門、施設の紹介と最近の研究テーマ（3月31日付け）

各部門、研究施設の研究テーマを紹介する。

・新金属資源部門（小坂田教授、竹内准教授、田邊助教、須崎助教）

— 遷移金属を含む分子及び分子集合体の新しい機能開発を行う —

有機遷移金属錯体化学を研究活動の原点におき、多様な物質の合成、構造、機能開発に取り組んでいる。無機化学、触媒科学、有機合成化学、高分子化学などの基礎学術の知見をフルに用い、独創性の高い研究成果を得るとともに、新材料開発への貢献を目指している。具体的には、多金属中心をもつ錯体の新しい構造及び反応性の開発、インターロック構造をもつ金属錯体の集合制御、高選択的な小分子の低重合、高重合反応の達成、新機能高分子の合成、を目標としている。当部門の最近の研究テーマを以下にまとめる。

- ・ 新構造を有する平面四核パラジウム、白金錯体の電子状態解明
- ・ 遷移金属触媒によるアルキルシランの重縮合反応
- ・ 有機ケイ素化合物の変換反応の機構解明
- ・ Suzuki-Miyaura カップリングの中間体の研究
- ・ 含遷移金属ロタキサンの集合制御によるミセル、ゲル形成
- ・ 異性化重合を用いた官能基化炭化水素高分子の合成と機能開発

- ・ 新概念によるオレフィンの重合および低重合反応の錯体触媒開発

- ・ **無機資源部門（小泉准教授、福元助教、山本隆一教授（平成21年3月定年退職））**

- ー有機金属錯体化学を基盤とし、合成・反応・応用の研究を行うー

当部門では、電気化学的手法を用いた遷移金属錯体の新規機能開発を目指した研究を展開している。金属および配位子に酸化還元中心を持つ金属錯体、外部刺激に対して応答する配位子を有する金属錯体など、多様な錯体の設計・合成を行い、それらの電気化学的性質および挙動の検討から、環境調和型電解反応の開発や、電気エネルギーの有効利用を目的として研究に取り組んでいる。

当部門で行われている最近の研究テーマを挙げる。

- ・ 酸および塩基に応答する配位子を有する金属錯体の創成および電解反応活性の探索
- ・ 多段階の酸化還元能を有する配位子を含む金属錯体の構築および電気化学的挙動
- ・ 二酸化炭素の資源利用を目指した電解還元法の開拓
- ・ 錯体を触媒に用いる電気化学的酸化還元反応の開発

- ・ **合成化学部門（田中教授、谷口准教授、三治特任准教授、牧岡助教、柏原助教）**

- ー有機合成を基盤とする機能性材料の設計・合成の研究を行うー

安心・安全に係わる技術や環境保全、資源・エネルギーの効率的利用等のグローバルに関心のある分野、電子情報産業や医療関連産業等の一層の展開を保障する物質・材料群の創製とその合成技術開拓の分野は、益々期待されている。当部門では、ヘテロ元素（周期律表13～17族元素）の特長に注目し、環境・資源・エネルギー・電子情報・医療分野への応用を視野に入れた含ヘテロ元素物質・材料を中心に、そのための素材合成法の開拓、材料設計と機能開拓を目標に研究を行っている。

次に当部門で行われている最近の研究テーマを挙げる。

- ・ ヘテロ元素化合物の新規合成法と利用技術の開拓
- ・ 発光分子の設計とセンサーへの応用
- ・ 有機イオン液体担持金属ナノ粒子触媒の開発
- ・ 触媒機能有機分子の設計と合成法の開拓

- ・ **スマートマテリアル部門（穂田教授、吉沢准教授、稲垣（高尾）助教、小池助教）**

- ースマートマテリアル開発を指向した遷移金属錯体化学の研究を行うー

平成14年4月に発足した部門である。「環境変化検知」「情報伝達」「機能発現」を組み合わせたスマートマテリアルシステムの構築を目指して、有機金属化学・錯体化学・超分子化学を基盤にした研究を行っている。以下に、当部門で行われている最近の研究テーマを挙げる。

- ・ 環境応答型金属錯体システムの開発

- ・ 遷移金属-炭素同素体の有機金属化学（情報伝達素子の開発）
- ・ 光エネルギー捕捉ユニットを含む多核金属錯体の合成研究
- ・ 芳香環に囲まれた分子ナノカプセルの構築と機能発現

・ **無機機能化学部門（山元教授、成毛准教授、今岡助教、山瀬利博教授（平成20年3月定年退職））**

ー精密無機機能化学を基盤とする未来ナノ材料の創製に関する研究を行うー

種類豊富な無機元素を原料に精密に無機-有機ハイブリッドナノ構造体を自在に組み上げる方法の確立が、未知の次世代ナノ材料の誕生に繋がる事は言うまでもない。本部門では精密無機機能化学を基盤として新しい領域を拓くための新概念の創出を目指し、あわせて、環境、生体機能、エネルギー科学などに波及する革新的な機能を持つ未来ナノ材料の創製に挑戦している。

- ・ 金属集積の自在制御法の確立
- ・ 環境調和型精密金属ナノ材料の合成
- ・ 無機-有機精密ハイブリッド素子の開発
- ・ ナノ集積クラスターを利用する光機能材料の創製

・ **集積分子工学部門（彌田教授、長井准教授、伊藤助教、小村助教、波多野特任助教）**

ー分子やナノ材料を自在に配置・集積・組織化する統合・拡張型の分子材料工学を開拓するー

本部門は、平成18年4月に10年時限で設置され、①分子を究極のユニットとして階層的に組織化する分子システム、および②構造微細化によって新たな機能・物性を発現するナノ材料を自在に配置・集積・組織化する統合・拡張型の分子材料工学を開拓している。これは、分野別に発展してきた物質科学や材料工学を統合し、新物質の探索から新機能を発現する分子システムやデバイス開発まで見通した新しい拡張型の分子材料工学で、高分子、金属、半導体、金属錯体などさまざまな物質を対象に、構造・機能・物性が統合された「テンプレート物性工学」、「有機半導体光エネルギー変換材料工学」、「分子回路工学」を柱に学理と応用研究を行っている。

- ・ 高分子マイクロ相分離テンプレートによるナノ物性工学の開拓
- ・ p n接合有機半導体を基盤とする光エネルギー変換材料
- ・ 分子回路工学をめざした分子グリッド配線技術の開発
- ・ バイオテンプレート法による電磁波応答材料の開発

・ **高分子材料部門（池田教授、宍戸准教授、木下助教、間宮助教）**

ー高機能高性能高分子材料を創製するため、物作りから評価まで一貫した研究を行うー
当部門では、高機能高性能高分子材料を創製するため、その基本となる分子設計・合成・

物性評価・機能評価の各プロセスを有機的に関連させながら、ものづくりから評価までを一貫して総合的に研究を行っている。機能として、次世代エネルギーおよび情報通信手段として注目される光に着目し、光との特異的な相関を示す液晶高分子を重点的に取り上げている。高分子・光・液晶を組み合わせ、協同効果による外部刺激の増幅を利用して機能材料を開拓するコンセプトに基づき、様々な新材料を創製している。

当部門で行われている最近の研究テーマを挙げる。

- ・ 架橋フォトクロミック液晶高分子を用いた光運動材料の開発
- ・ フォトクロミック液晶高分子を用いたホログラムの作製
- ・ 電界偏光発光液晶高分子の創製

・ プロセスシステム工学部門（仲教授、関准教授、田中助教、星野助教）

ーライフサイクル エンジニアリングを実践する統合化技術情報基盤を開発するー

プラントの設計・運転・保全、および各種の変更を含めたプラント ライフサイクルにわたって、プロセス安全を常に保証する生産管理の仕組みの確立をめざして、技術情報基盤を構築している。この基盤は、業務の流れに沿いながら必要な様々な判断する情報や方法論を開発している。特に、連続・バッチプロセスを問わず、プラント構造・プロセス挙動・操作の情報を下に、安全性評価を設計変更はもとより、運転監視などに合理的に展開できる環境を構築している。

さらに、これらの知見を、プロダクト ライフサイクルを基本にした循環型社会技術システムへ展開し、持続的発展をめざしたシステム計画や運用の仕組みを開発している。資源の投入から製品を製造工程、輸送工程は勿論のこと排出物の最終処分に至るまでの工程を環境影響評価しながら、これらの業務を支援する仕組みを構築している。

- ・ エンジニアリング業務モデルの構築
- ・ 安全を保証する連続プロセス・バッチプロセスの計画、運用のための情報基盤の構築
- ・ リスク管理を基本とするプロセス安全管理の支援環境の構築
- ・ バイオマス利用システムやプラスチック等の人工物循環システムの構築
- ・ 知識の構造化、共有化を推進する情報技術の開発

・ 化学システム構築部門（山口教授、竹下准教授、田巻助教、大橋特任助教）

ー資源、エネルギー、環境の整合性を考慮したプロセスシステムの構築を目的とするー

環境問題、エネルギー・資源枯渇問題など地球規模の問題の解決、豊かな生活持続のための医療・医薬技術の進展、どの分野でも新しい機能材料・プロセスの開発が必要不可欠である。当部門では材料自身をシステムとしてとらえ、複数の素材を有機的に結びつけ、新機能を発現する“機能材料システム”およびそのプロセス化までを対象とし、燃料電池からバイオマテリアルまで次世代材料の創製を通じて、持続発展可能な地球環境保全技術への展開を目指している。

以下に当部門で行われている最近の研究テーマを挙げる。

- ・ 細孔フィリング法・ナノキャッピング法・グラフト重合法を駆使した固体高分子形燃料電池用高性能触媒層・電解質膜の開発
- ・ アニオン交換膜形次世代燃料電池の開発及び化学システム解析
- ・ 環境調和型バイオ燃料電池アノード・カソードの高電流密度・高耐久設計開発
- ・ 燃料電池のマクロ性能を予測するマイクロレベルシミュレーション手法の開発
- ・ 分子認識ゲート膜の開発及び自律吸脱着デバイス・バイオセンシングデバイスへの応
- ・ システム的アプローチによる汎用型人工アロステリック酵素の開発
- ・ 持続的バイオリアクタシステムを指向したリフォールディング支援膜と新陳代謝型酵素メンブレンリアクタの開発
- ・ 高分子中の分子拡散性を予測するマイクロ自由体積モデルの構築

・ **分光化学部門（藤井教授、酒井准教授、石内助教、宮崎助教）**

ーレーザーを用いた分子の構造と反応に関する研究及びこれに資する新規分光法の開拓と応用に関する研究を行うー

分子の構造と反応機構の探索は新規物質の創成と並ぶ化学の根幹である。本部門ではレーザー分光法により分子及び分子クラスターの構造と緩和・反応ダイナミクスを基底状態、電子励起状態、イオン化状態など様々な状態で研究している。複数のレーザー光を用いるUV-IR-UV Dip 分光法など独自の多波長分光法、波長可変ピコ秒レーザーを複数台用いる時間分解赤外分光法など分光学を基盤として化学反応素過程を追跡している。これら基礎理化学研究と同時に分析化学との連携による多光子イオン化高感度分析法、及び光学との融合による超解像顕微分光法の開発など領域を超えた共同研究により新分野創出を目指している。

以下に当部門で行われている最近の研究テーマを挙げる。

- ・ 神経伝達物質など高度な分子認識を担う分子の構造と認識機構の研究
- ・ 芳香族酸クラスターにおける新規な励起状態水素原子移動反応の研究
- ・ 分子クラスターにおけるイオン化誘起異性化反応のピコ秒時間分解赤外分光
- ・ ピコ秒時間分解赤外分光法による表面・溶液・クラスターでの振動緩和の研究
- ・ 2波長分光法に基づく超解像赤外顕微鏡法と顕微分光法の開発
- ・ Jet-REMPI 法による燃焼ガス前処理なしリアルタイム高感度分析
- ・ 収束イオンビーム／レーザーイオン化法による微粒子の履歴解析装置の開発と越境微粒子、ナノ材料分析への応用

・ **有機資源部門（岩本教授、石谷講師、秋山助教、田中助教）**

ー規則性無機ナノ空間を活かし新しい触媒反応系機能材料を創成するー

地球環境に対する負荷を軽減するため、ナノメートルオーダーで構造を制御した規則性無機ナノ空間物質を用いて新しい触媒反応系の開拓している。まず、種々の有害物質を効率的に除去する技術あるいは稀少元素の効率的捕集法の開発している。次に、すべての化学反応を高効率固体触媒反応に置き換えるため、固体触媒による有機合成、固体上での不斉合成を研究している。三つ目は、バイオマス資源を有効利用するための新しい触媒反応系の開拓である。

以下に当部門で行われている最近の研究テーマを挙げる。

- ・ 窒素酸化物の低温接触除去プロセスの開発
- ・ 新しい複合酸化物多孔体の調製
- ・ シリカナノ多孔体を触媒とするバイオエタノールの低級オレフィン化
- ・ 固体触媒による不斉合成
- ・ リグノセルロースの触媒法による化学原料化

・ **触媒化学部門（辰巳教授、野村准教授、横井助教、今井助教）**

ー環境調和型プロセス用触媒とエネルギー変換触媒に関する研究を行うー

環境にやさしいグリーンケミストリープロセスのための触媒や新規な機能性多孔体材料の合成を行っている。更には、各種赤外分光法を用いた表面反応メカニズム・ダイナミクスの解析ならびに次世代エネルギー「水素」を製造するエネルギー変換触媒の研究開発に取り組んでいる。廃棄物を出さないクリーンな酸触媒反応、酸化反応プロセスのためのゼオライト骨格に触媒活性な金属を植え込んだメタロシリケート触媒を開発し、同時にそれらの表面反応の機構を明らかにした。また、キラルな細孔をはじめとする新規な超格子結晶構造を有するメソ多孔体材料を創製した。更に、ゼオライトのある特定の構造を有機構造規定剤の存在しない条件で構築する新しい手法の開発に成功した。以下に当部門で行われている最近の研究テーマを挙げる。

- ・ 新規な構造のチタン含有ゼオライトの合成と選択酸化反応
- ・ 有機構造規定剤フリー条件での特殊構造を有するゼオライトの合成
- ・ バイオマスをベースとした軽質オレフィンと有用化学品の合成
- ・ キラルなメソポーラスハイブリッド材料の合成と分離・触媒材料としての応用
- ・ 赤外分光法による触媒表面における反応ダイナミクスに関する研究
- ・ 光触媒を用いた光エネルギーの化学エネルギーへの変換

・ **生物資源部門（元島助教、吉田賢右教授（平成21年3月定年退職））**

ー生体に重要なタンパク質の機能の徹底理解をめざすー

タンパク質は、生体の中で起こるいろいろな化学反応、物質や組織の動きなど、ほとんどすべての作業をこなしている万能選手である。アミノ酸のポリマーであるタンパク質は、そのアミノ酸配列のバリエーションによってさまざまな立体構造をとることが出来る。また、その立体構造が可動的であることで、電子の伝達、光の受容、機械的な運動、情報の伝達、特異的な反応の触媒など、いろいろな機能を果たすことが出来る。逆に、個々のタンパク質の機能を知るためには、その作用を素反応にまで分解し、同時に立体構造を解明して、さらに素反応を立体構造の中で位置付けていくことが必要である。本部門では、生体内で特に重要な役割を担っているタンパク質であるATP合成酵素・分子シャペロン・酸化還元タンパク質を研究の中心にすえ、タンパク質の機能を分子レベルで理解することを目標として、生化学的・分子生物的手法、物理的測定など、適用できる知識と技術を総動員して研究を進めている。

次に当部門で行われている最新の研究テーマを挙げる。

- ・ 回転するタンパク質分子モーター・ATP合成酵素の分子機構と調節機構の解析
- ・ 酵素の調節スイッチタンパク質・チオレドキシニンによる調節機構の解析
- ・ 変性したタンパク質の修復の介添え役・分子シャペロンの分子機構の解析

・ **資源循環研究施設（久堀教授、菅野准教授、本橋特任准教授、紺野助教、三留特任助教、正田誠教授（平成20年3月定年退職））**

ー新しいバイオプロセスの開発のための基礎研究を行うー

光合成生物は、地球上で唯一、光エネルギーを生物が利用できる化学エネルギーに変換するシステムであり、かつ最大のエネルギー変換システムである。中でも、酸素発生型光合成生物は、現在の好気的な地球環境を作り出し、生物の圧倒的な反映に貢献した。現在でも、光合成生物の代表である植物は地球上で最大のバイオマスであり、エネルギー資源としての重要性も高まっている。一方、光合成微生物は、海洋など水圏においてエネルギー変換に中核的な役割を果たしている。私たちは、光合成生物のエネルギー変換機構とその調節機構を理解し、生産性の向上などの応用研究に役立てることを目指して研究を行っている。また、多様な微生物機能の工学的な応用を目指した微生物工学研究も行っている。当研究施設で行われている最近の研究テーマを挙げる。

- ・ シアノバクテリアATP合成酵素の回転分子モーター制御機構の解明
- ・ 光合成生物ATP合成酵素の酸化還元活性調節機構の解明
- ・ 葉緑体チラコイド膜を介した還元力伝達の分子機構の解明
- ・ 光合成微生物の代謝機能の酸化還元調節機構の解明
- ・ 窒素固定型シアノバクテリアによる窒素固定の制御機構の解明
- ・ 糸状菌ペルオキシダーゼによる難分解性物質の分解機構の解明

- ・ バクテリアセルロースの高生産を目指したセルロース分泌装置の分子機構の解明

- ・ **エネルギー変換材料（凸版印刷）寄付研究部門（山本特任教授、竹井特任助教）**

ー有機金属化学を基礎とするエネルギー変換用新機能性材料創製の研究を行うー

当部門では有機金属化学における炭素—炭素結合生成反応等を応用して、エネルギー変換機能を持つ高分子材料の創製をめざして研究を行っている。対象とするエネルギー変換材料としては、水素を用いる燃料電池等の電池用イオン伝導性高分子があり、この材料について主に研究を行っている。この他に、発光性や太陽電池に応用可能性のある光・電変換機能性高分子などや、酸化・還元機能を持ちエネルギー貯蔵能を持つ高分子材料についても研究を行っている。

4. 1. 4 研究成果

（新金属資源）

- ・ 飽和脂肪族炭化水素高分子における液晶性発現を見出し、あわせて高分子の立体構造や合成反応選択性と液晶能との関連を明らかにした。
- ・ フェロセン含有ロタキサンの結晶相転移を見出し、これによって結晶の光軸の回転、偏光吸収波長の変化のオンオフ制御が可能になる事を明らかにした。

（無機資源）

- ・ 第二級チオアミド基を有する Ni および Ru ピンサー型錯体を合成し、ピンサー型配位子の構造が金属の酸化還元準位に対して与える影響を比較した。これまでに例のないピロール骨格を含むピンサー型錯体の電気化学的挙動を明らかにした。
- ・ 酸—塩基に対して応答する遷移金属—第二級チオアミド錯体の構築を行い、電子およびプロトン移動の機構についてその詳細を明らかにした。

（合成化学）

- ・ 有機リン化合物の効率的合成法を開拓すると共に、有機リン化合物等の共役分子をタンパク質や爆薬の高感度・その場センサーに応用できることを示した。
- ・ 不安定で合成困難なチオカルボン酸を、カルボン酸とチオ酢酸のメルカプト基交換反応により簡便に合成法できることを見出した。

（スマートマテリアル）

- ・ フォトクロミックユニットを含む有機金属分子ワイヤーを新規に構築して、その光異性を鍵とした特異な電子伝達能制御システムを開発した。
- ・ ナノサイズの三次元錯体空間を活用した平面状金属錯体の有限集積化を達成すると共に、それらが金属—金属間相互作用を発現することを見出した。

(無機機能化学)

- ・ 精密金属集積高分子の開発
金属イオンの原子数及び配位場所を制御できる高分子配位子を開発した。
- ・ 新型ホール輸送材料の開発
金属イオンと π 共役高分子のハイブリッド材料による初めてのホール輸送材料を開発、エレクトロルミネッセンス素子へ展開した。
- ・ 新しい近赤外可視波長変換材料の開発
近赤外線の有効利用を目指し、パルス変調で発光色を制御できる材料や3光子励起による高輝度青色蛍光体を開発した。

(集積分子工学)

- ・ 世界最高品位の高分子マイクロ相分離構造を与える両親媒性液晶ブロックコポリマーを開発し、高信頼性ナノテンプレート薄膜の大面积製膜と各種材料への転写複合化プロセスを実現した。
- ・ p n接合型有機半導体による可視光応答レドックス触媒を開発し、悪臭物質のCO₂への完全分解と2ヶ月程度の長時間耐久性を実証し、新しい光エネルギー変換材料とシステム化の研究分野を開拓した。

(高分子材料)

- ・ 光を直接力に変換できる高分子光運動材料の開発に成功した。世界で初めて光のみを動力源とするプラスチックモーターやロボットアームの作製に成功した。
- ・ 高密度記録が可能な光書き換え型ホログラム材料の開発に成功した。

(プロセスシステム工学)

- ・ 連続・バッチを区別なく様々な運転モードを表現する方法が開発された。また、安全性評価を基本とした変更管理の方法論が整備された。
- ・ 持続的発展を見据えた社会技術システム計画、運用の一貫した方法論の確立、および、地域の成功例を全国規模への展開可能性を推定する方法論が開発された。

(化学システム構築)

- ・ ナノキャッピング法を用いて有機高分子電解質と強表面酸性無機ナノ粒子を高度に複合化することで、過酷な高温低湿度においても高いプロトン伝導性を維持する次世代型電解質材料の開発を行った。
- ・ プラズマグラフト重合法を用いナノ細孔内に生体分子レセプターを高密度に集積することで、目的の生体分子の迅速且つ高感度な検出を可能とする高速イムノクロマト法の開発を行った。

(分光化学)

- ・ 生体分子グラフィトレーザー脱離法の開発と気相レーザー分光
生体分子は分子システムを構成して高機能を発揮する重要な分子群である。その機能解明のため、生体分子を気化させるレーザー脱離法を開発し気相分光を可能とした。
- ・ 振動和周波発生法による超解像赤外顕微鏡の開発
分子の指紋である分子振動で細胞や材料をイメージングできる赤外顕微鏡に振動和周波発生法を組み合わせ、非染色で波長よりも遥かに高い解像度を有する超解像顕微鏡の開発に成功した。

(有機資源)

- ・ Pt 系窒素酸化物除去触媒の高効率化
Pt 系触媒の作動温度を下げるため、シリカナノ多孔体を担体とし、水素を還元剤とすると 40°C 以上で窒素酸化物無害化が可能になった。また、Ge 添加により 200°C 付近で特異的に活性が向上した。
- ・ バイオエタノールの低級オレフィン化
バイオエタノールからプロピレンを選択的に生成するための触媒開発を行い、収率 40% (当初目標値 35%)、活性劣化なしを達成した。

(触媒化学)

- ・ 平成 21 年度において、高価な有機構造規定剤を使用することが前提となっていたゼオライトを低コスト、低環境負荷プロセスにより調製することに成功した。本成果は *Angew. Chem. Int. Ed.* 誌に掲載され、また *Nature Nanotechnology* 誌で紹介された。
- ・ H18 年度～H21 年度において、メタノールやエタノールなど低級アルコールからエチレン、プロピレンを高選択率で与える新規ゼオライト系固体酸触媒の開発に成功した。

(生物資源)

- ・ 葉緑体型 ATP 合成酵素の特異的な阻害剤・活性化剤であるペプチド化合物が分子モーターの回転挙動に与える影響を調べ、その作用機構及び分子モーターの回転機構について新たな知見を得た (Meiss E, et al. *J. Biol. Chem.* 2008 283, 24594–24599)。
- ・ 大腸菌分子シャペロンを構成する GroEL リングと GroES リングの相互作用を調べ、基質タンパク質と GroES の競合関係、GroEL の構造変化などに新たな知見を得た (Nojima T, et al. *J. Biol. Chem.* 2008 283, 18385–18392, *J. Biol. Chem.* 2009 284, 22834–22839)

(資源循環)

- ・ シアノバクテリアの酸化還元制御系の解析により、代謝バランスの調節、タンパク質合

成の調節など、重要な生理機能が調節されていることを明らかにした(Hishiya S. et al. Plant Cell Physiol. 2008, 49, 11-18)

- ・糸状菌新規ペルオキシダーゼの結晶構造解析を行い、難分解性物質の分解を触媒する新規分子機構に関する重要な知見を得た(Sugano, Y. et al. J. Biol. Chem. 2007 282, 36652-36658).

(エネルギー変換材料)

- ・ピリジン単位を主鎖に持ち側鎖にスルホ基を有する高分子材料の合成：ニッケル錯体等を用いる合成法により、耐熱性、フェントン試験耐性に優れイオン伝導性のある高分子の合成を行った。
- ・新規パイ共役高分子の合成：発光性やトランジスタ機能等を持つ新規チオフェン系パイ共役高分子、フェニレン系高分子等を合成して構造・物性・機能を評価した。

4. 2 将来目標・計画

a. 組織化、システム化を原理とした機能性物質の精密設計と創製

組織化、システム化を原理とした精密設計に基づいて機能性物質を創製する。具体的には、含遷移金属超分子を構成要素とするゲルの形成、分解を自在に制御することによって、その光機能、触媒能力などの性質をパルス的に変化させる化合物を設計し、材料として得る。また、高分子ミクロ相分離に代表される自己組織化ナノ構造と生体微細組織を鋳型とするテンプレート物性工学を開拓し、ナノ構造・機能が制御された電子材料、反応場、触媒、分離膜への展開をはかる。さらに、分子グリッド配線技術を確立し、分子回路工学の基盤研究および超高感度センシングシステムへの展開をはかる。

b. 高感度、高選択性化合物の創製とデバイス化

高い選択性と反応性を持つ有機金属反応を用いたエネルギー変換用の高機能性高分子材料の創製や有機金属分子ワイヤーの多次元化と集積化による高機能性の分子素子の創製に取り組む。またその組織化によるナノデバイス構築に挑戦する。特にデバイス化においては、企業等との連携により研究を進める。また、プロトン濃度によって大きく構造が変化する多核遷移金属錯体を基盤とし、溶液状態の微細な変化を検知し、これに対応する集合体を設計し、デバイス作成につなげる。

光、電界、応力などの外場に鋭く応答する高分子を創製し、協同現象による外部刺激の増幅を利用して、記録・運動などの特異的機能を有する高分子材料の開発を目指す。さらに、 π 電子系の修飾の高度化を機軸として、アミンや核酸のセンシング技術を開発する。

c. 環境適合型材料の創製

燃料電池、太陽電池、さらにはより効率の高いエネルギー貯蔵システムの構築をめざし、

環境に適合した材料を合成する。元素戦略として期待されているケイ素系材料の新規製造法の開拓、生体適合性の金属種を利用した分子ナノカプセルの創製により、その分子認識能や包接能に基づく新規な環境適合型ナノ材料の開発を行う。pn接合型有機半導体による可視光応答レドックス触媒を基盤に光エネルギー変換と環境浄化をめざした光触媒、物質変換、太陽電池への展開をはかる。

d. 環境調和型合成技術

入手容易な不飽和炭化水素の重合反応によって、液晶性などの高機能をもつ高分子合成をおこなう。合成に多段階の変換を要しない原料から高度な材料物質を得ることによって、製造に要するエネルギーの節約、廃棄物抑制が可能となる。また、チオカルボン酸の環境調和型合成法が確立されたので、高分子材料創成を含めその利用反応を開発する。

リグノセルロース、バイオエタノール等の植物由来炭化水素資源の有効活用を図るための新しいバイオリファイナリープロセス触媒を開拓する。非食料木質系バイオマスの有効利用を目的に、ゼオライトをはじめとする固体酸触媒によってバイオマスからのバルク化学品製造プロセスを開発する。

金属錯体を触媒あるいはメディエーターとして利用する電気化学的酸化・還元反応（電解反応）の開発を行い、酸化剤・還元剤を必要としない環境調和型高活性・高選択的触媒の構築を目指す。

e. 超精密分析技術の開発

高機能分子システムのための気相レーザー分光法を開発を行なう。生体分子、超分子など高度な機能を複数の分子の運動で実現している分子システムの機構を明らかにするため、高機能分子システムのための新たな気相分光計測手段を開発する。これにより、分子を理解する分子科学から分子システムの理解を目指す「高次系」分子科学の創出を目指す。

分子振動は分子の指紋と称されており、特定の分子振動で材料や細胞を画像化できると特定の分子の分布、相互の関連、機能発現が直接的に可視化できる。これには光学顕微鏡の分解能を回折限界以上に向上させる必要があり、超解像顕微鏡の開発と生細胞・高機能ナノ材料への展開などその分光学的応用を進める。

f. 環境負荷低減プロセスの開発

錯体触媒設計の高度化により、アトムエコノミーに優れたプロセスを開拓する。また、従来の熱分解よりもはるかに低温で起こるナフサ接触分解プロセスにより石油化学品（エチレン、プロピレン、ブテン、芳香族等）を高収率、高選択率で得る高性能ゼオライト触媒の開発を行う。ディーゼルエンジン、二輪車用ガソリンエンジン等の排ガス浄化に対応できる新しい接触除去システムを構築する。

酵素と分子認識ポリマーのコンジュゲートにより、任意のシグナル分子によって酵素機

能の調節を可能とする人工アロステリック酵素の開発を行う。

g. 画期的なエネルギー変換システムの開発

太陽光をはじめとする光エネルギーを、電池・電極・配線などの付帯素子を介さず、直接高効率に力学的エネルギーへと変換できる高分子材料の開発を目指す。無機-有機の精密複合による相乗的な機能システムの開発、近赤外可視変換材料による太陽電池の効率改善を図る。また、非白金触媒および多様な液体燃料の使用を可能とするアニオン交換膜形次世代燃料電池の開発において、細孔フィリング手法を用いた高機能要素材料の開発および化学システム解析を行う。電気エネルギーと化学エネルギーの相互変換系の構築を目指し、二酸化炭素の多電子還元およびメタノールの低電位電解酸化の開発を行う。

光合成生物の分子モーターと酸化還元制御機構の分子レベルでの研究を推進し、分子レベルでの構造変化を自在に制御することで酵素活性や分子の回転を制御できる新しいエネルギー変換システムの開発に資する研究を実施する。

h. 既存の化学物質を代謝する新しいバイオプロセスの開発

新規ペルオキシダーゼの構造情報に立脚して難分解性物質の代謝機構を解明し、より効率的な酵素活性発現を実現できる分子機構を予測・実証することで、新しいバイオプロセスの開発に資する研究を実施する。

i. 無機有機複合精密化学の展開

種類の豊富な無機元素を原料に精密に無機-有機ハイブリッドナノ構造体を自在に組み上げる方法を確立する。有機分子環境制御による無機クラスター分子構造の精密制御を実現する。

j. ライフサイクル エンジニアリング (LCE) の支援の方法論と支援環境の構築

精密化学製品や医薬などの製造を、安全・品質を保証しながら実行するための方法論を確立する (プラント LCE)。また、原料調達から製品のサプライチェーン、さらに副生成物の最終処分までを環境影響、コストなどの様々な評価を行いながら社会システムの導入を支援する仕組みを確立する (プロダクト LCE)。

5 社会への貢献

5. 1 開かれた研究所としての現状

資源化学研究所が資金的にサポートし運営を部門の自主性に任せる講演会や研究会に招聘される研究者は、例えば平成 21 年度は 37 名にも及び、それ以外にも、我が国を訪問