

電子線を利用した省エネ・エコな フッ素樹脂分解技術

国立研究開発法人量子科学技術研究開発機構 (QST)

高崎量子技術基盤研究所

先端機能材料研究部

上席研究員 出崎 亮

2026年2月3日



テフロン®加工：
食材がくっつきにくい

※テフロン®は、ケマーズ社の登録商標です

本技術の概要

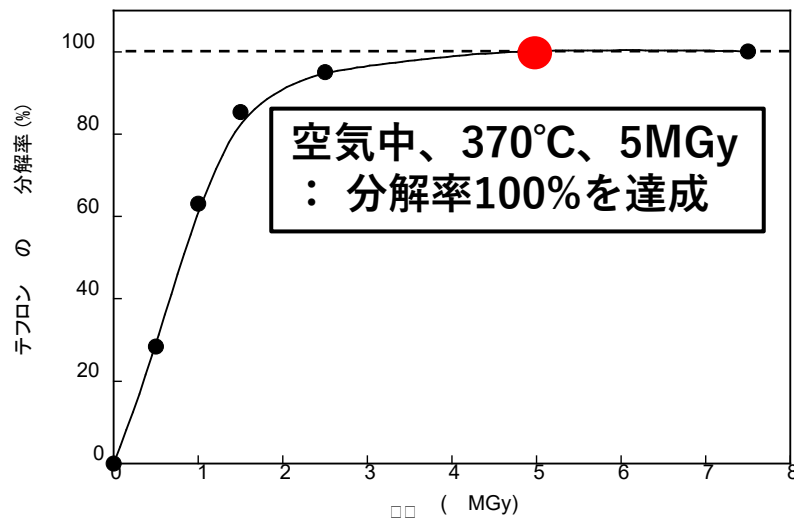
【課題】 フッ素樹脂の製造プロセス

<資源面> 原料確保

<環境面> 大きな環境負荷

【解決方法】 効率的に分解、資源化するリサイクル技術の開発

☞ 電子線照射を利用したテフロンの100%分解・ガス化技術の開発



<100%分解に必要なエネルギー>

従来の高温加熱による分解: 4,200 kWh



【電子線+加熱】による分解: 2,170 kWh

必要なエネルギー量を1/2に削減!

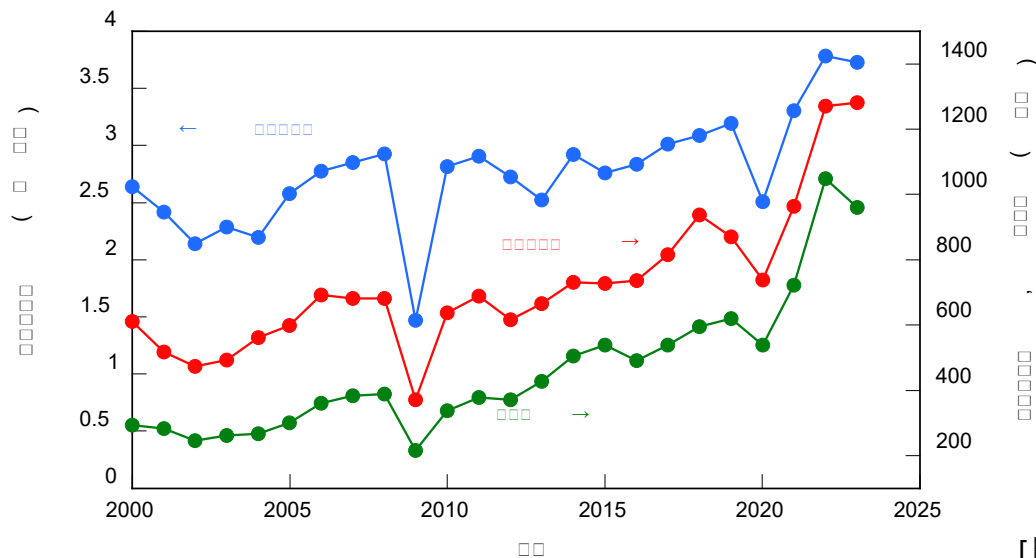
100%分解におけるCO₂排出量削減効果
(テフロン 1トン処理あたり)

▶ CO₂排出量 : 1,780 kg → 920 kg

CO₂排出量を860kg削減!

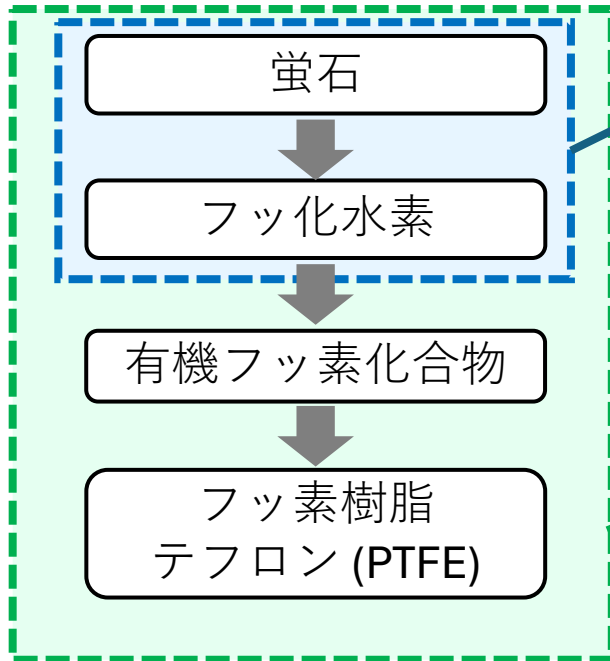
省エネ・エコなテフロンの分解技術を開発

私たちの生活に欠かせないフッ素樹脂



フッ素樹脂の特性	用途
低摩擦性、撥水性	日用品（フライパン、撥水スプレーなど）
耐熱性、耐薬品性	自動車部品（燃料タンク、EVバッテリーなど）
絶縁性、低誘電率	電子部品（太陽光パネル、Liイオン電池など）
生体適合性、化学的安定性	医療器具（カテーテル、フィルターなど）

フッ素樹脂の製造と課題



●原料を全て輸入に頼っている

蛍石：2.1万トン
フッ化水素：7.9万トン
(2021年実績)

「鉱物資源マテリアルフロー2022 フッ素(F)」
エネルギー・金属鉱物物質資源機構, 2023

●他のプラスチックと比較してCO₂排出量が多い

ポリエチレン*：約 2 t-CO₂/t
テフロン**：約10 t-CO₂/t (蛍石採掘分を含まず)

*POLY SHOP 公式ブログ(www.polyshop.jp/blog/)

**Shamrock Technologies, Inc., (<https://shamrocktechnologies.com/co2-emissions/>)

資源面・環境面の課題を解決するためには、
使用済みフッ素樹脂のリサイクルが不可欠

フッ素樹脂リサイクルの現状

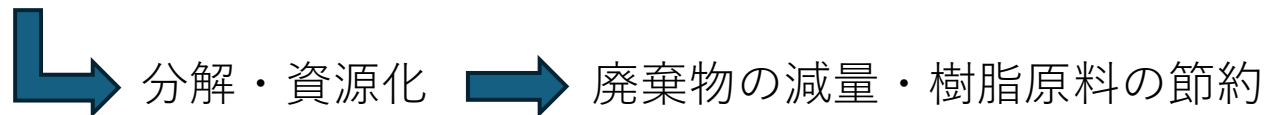
- 日本のフッ素樹脂廃棄物発生量：2,450トン（2019年）
（日本弗素樹脂工業会）

- フッ素樹脂のリサイクル率：76%

【マテリアル・リサイクル】

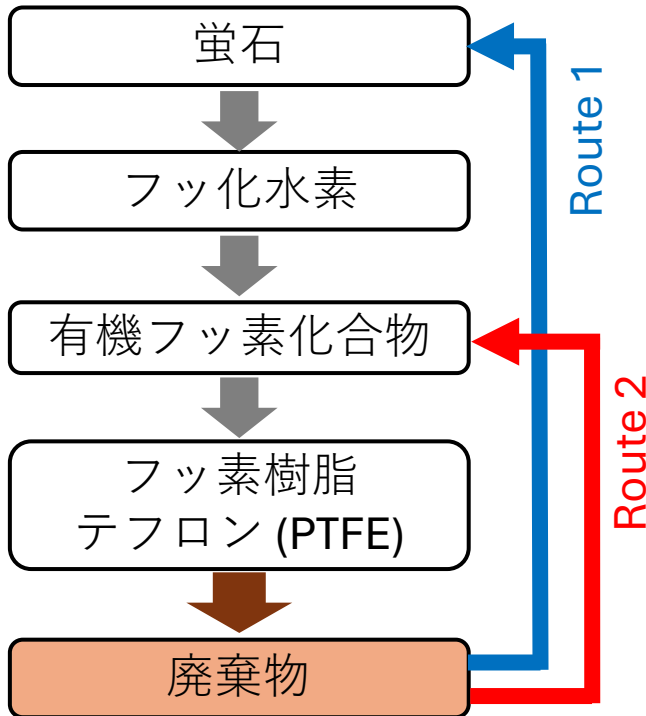
樹脂を粉碎・ペレット化し、再成形して使用
→純度が低く、強度等の材料特性が劣る欠点

- 残りは、埋立てにより処分
化学的安定性、燃焼時に有害ガス発生



フッ素樹脂の化学的リサイクル技術の開発

フッ素樹脂の化学的リサイクル技術



Route 1：蛍石まで戻す技術

- ・ アルカリを添加した熱処理法
- ・ アルカリを添加した亜臨界水処理法
- ・ 光触媒法
- ・ メカノケミカル法

Route 2：有機フッ素化合物まで戻す技術

- ・ 高温熱分解法（600-1000°C）

	長所	短所
Route 1 （原料確保の課題解決）	全ての含フッ素製品の原料を回収	樹脂の再製造において CO ₂ 削減に繋がらない
Route 2 （原料確保、CO ₂ 削減に寄与） パイロットプラント稼働	有機フッ素化合物を回収	樹脂の分解に多くの エネルギーを要する

本研究：Route 2において、より効率的な分解技術を開発

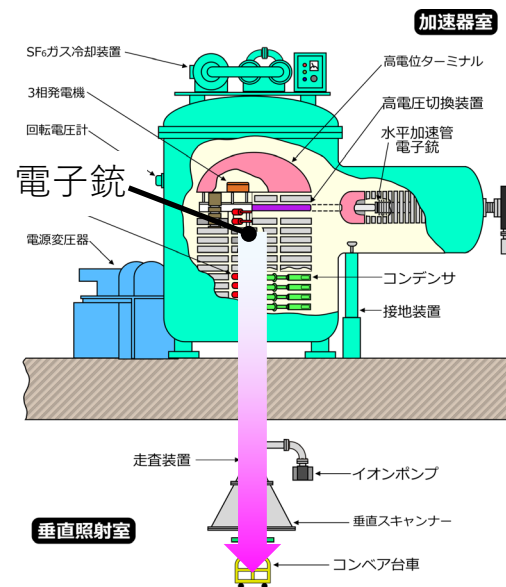
電子線とその特徴

電子線とは

- 電子銃から発生させた電子を電場により加速し、ビームとして取り出したもの

電子線の特徴

- 加速電圧、電子流、照射時間等により反応を容易に制御
→専用照射容器を利用すれば、雰囲気、温度も制御可能
- 数MeVまでの加速電圧範囲では被照射体の放射化なし
= 反応終了後、すぐに処理が可能
- コンベア利用により大量処理が可能
- 最大加速電圧300keV程度までの加速器の場合、遮蔽が不要



加速器本体



雰囲気・温度可変電子線照射容器



コンベアを利用した照射

電子線を利用した実用化例

ラジアルタイヤ



- ゴムに電子線を照射し、流動性や接着性を制御
- 耐摩耗性を改善
- 平成17年のシェア：約98%

ハイドロゲル創傷被覆材



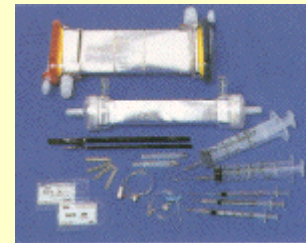
- ペースト状の水溶性高分子を電子線架橋してハイドロゲルを作製
 - 従来のガーゼや軟膏に比べ、苦痛を低減し、速やかに治癒
- ニチバンより商品化

超耐熱炭化ケイ素(SiC)繊維



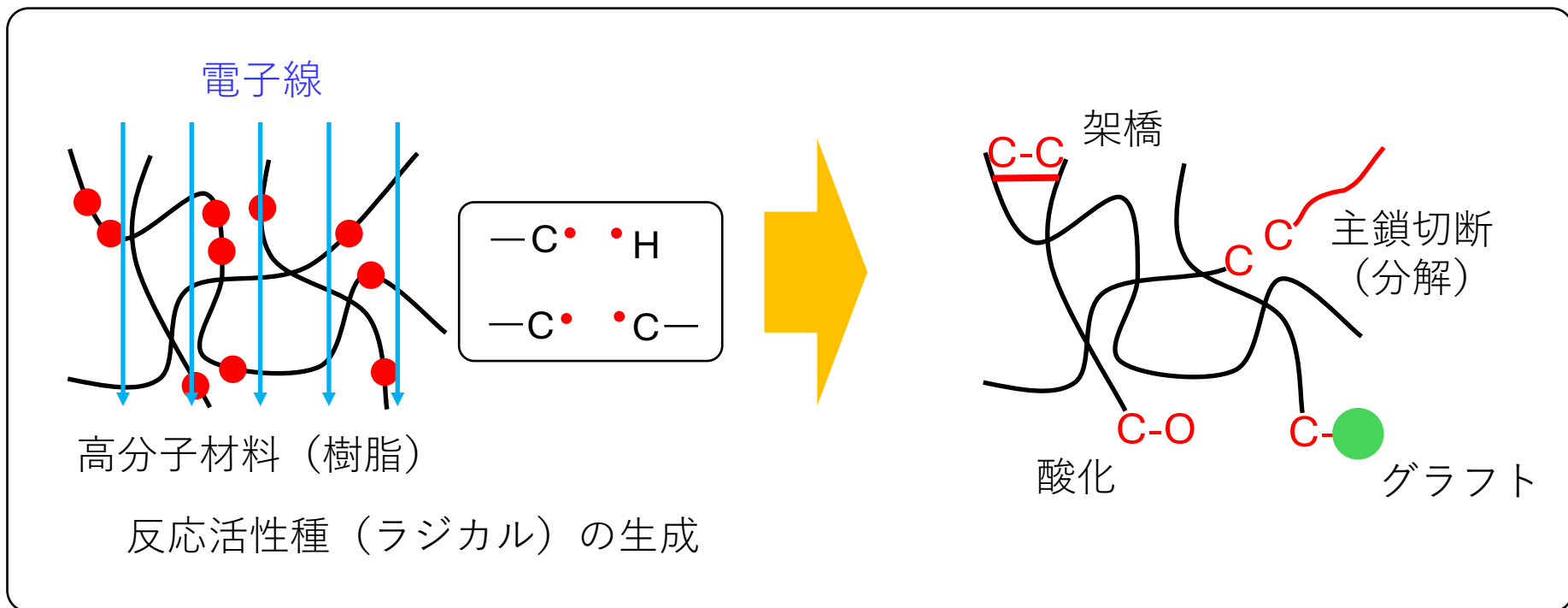
- ケイ素高分子を熔融紡糸、電子線架橋後に高温焼結し、SiC繊維を作製
 - 高強度、高耐熱性を実現
- 航空機エンジンに採用

医療器具の滅菌処理



- 電子線照射による滅菌処理
- 煮沸や薬品処理に替わる滅菌方法として広く普及

電子線と高分子材料（樹脂）の相互作用

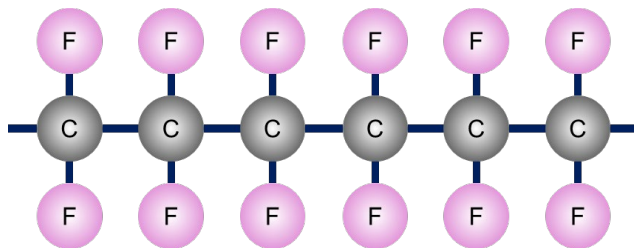


雰囲気、温度、線量率、線量等の照射条件に依存
→テフロン[®]の100%分解・ガス化に取り組み

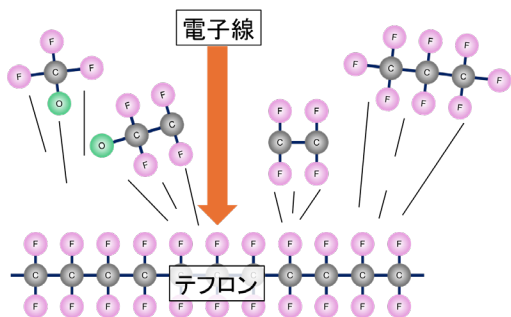
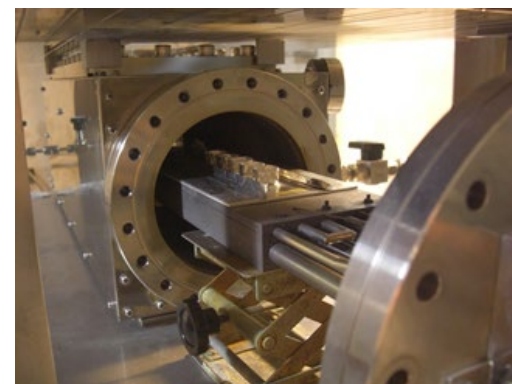
テフロン[®]の電子線照射

【実験】

粉末状テフロン (富士フィルム和光純薬, 平均分子量5,000-20,000) に対し、
空气中、室温から370°Cまでの温度において電子線を照射



テフロン(PTFE)
融点：327°C

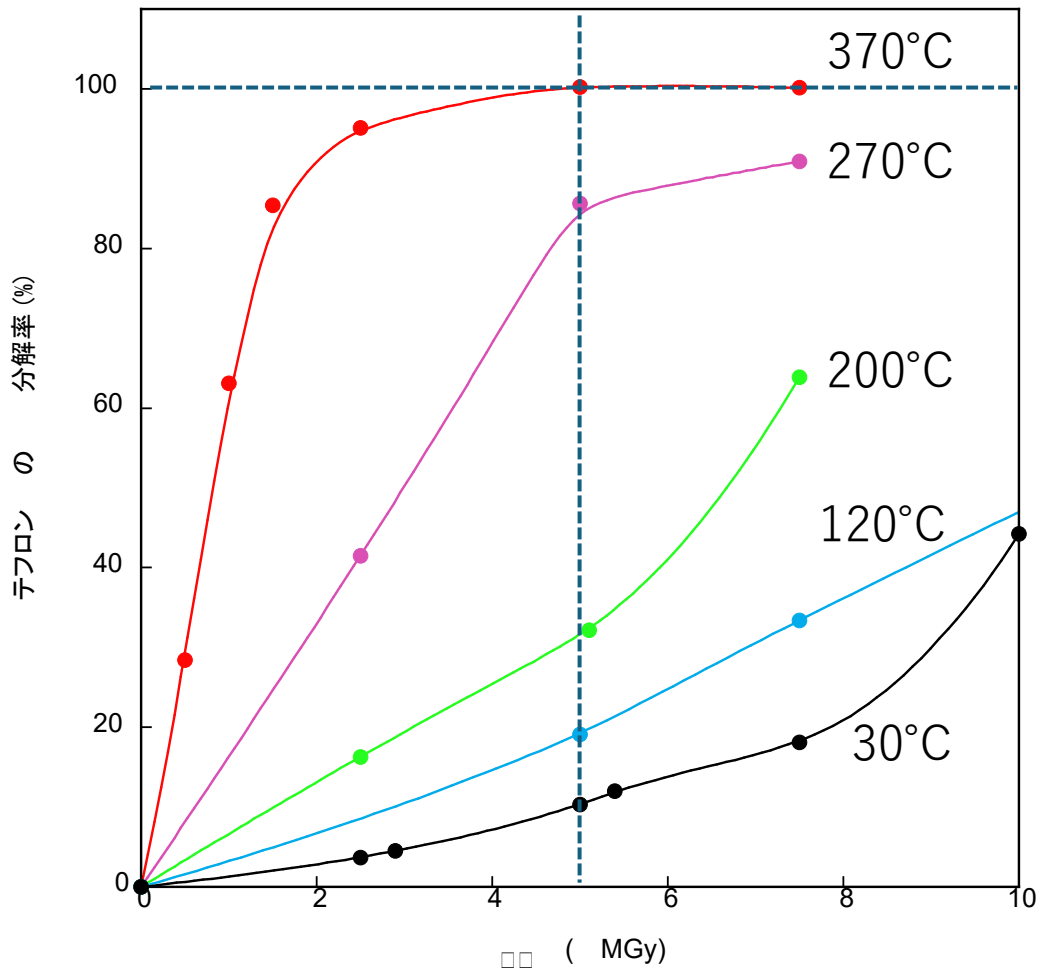


分子鎖切断によりガスとして揮発

照射前後の重量比から、テフロンの分解率を計算

$$\begin{aligned} & \text{テフロンの分解率 (\%)} \\ & = \left[1 - \frac{\text{電子線照射後重量 (g)}}{\text{初期重量 (g)}} \right] \times 100 \end{aligned}$$

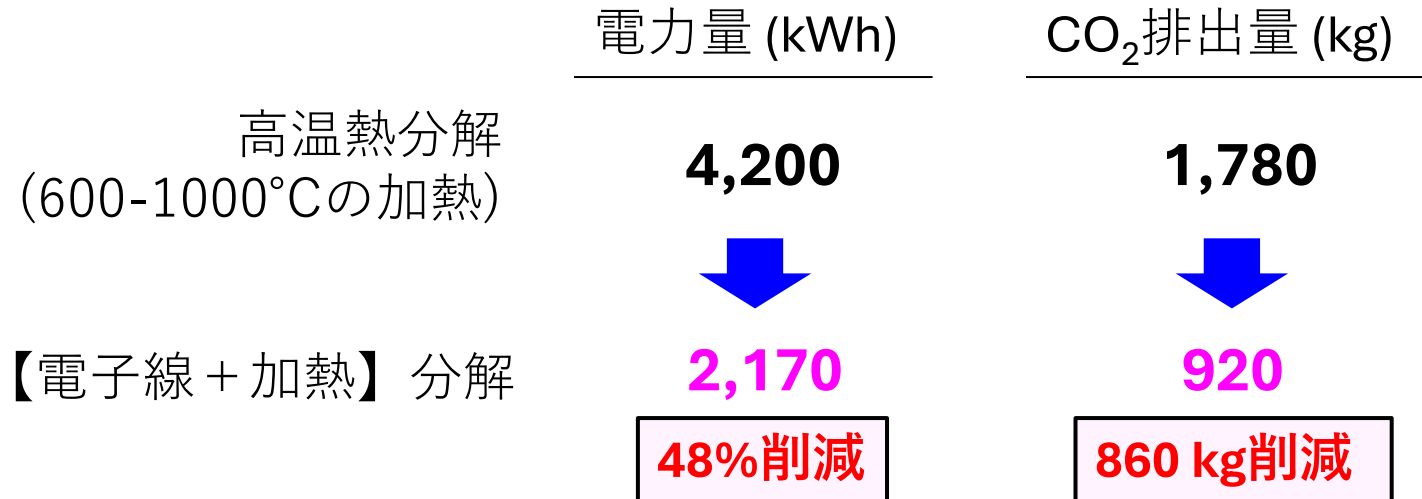
テフロン[®]の電子線照射による分解



空气中、370°Cにおいて5MGy
電子線照射することにより、
テフロンを100%分解・ガス化

分解に要する電力量・CO₂排出量の試算

- テフロンの分解に要するエネルギー（電力量）
= 【電子線照射にかかる電力量】 + 【加熱にかかる電力量】
- 1トンのテフロンを分解する時



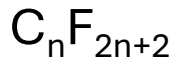
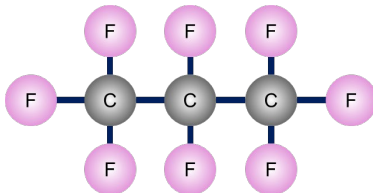
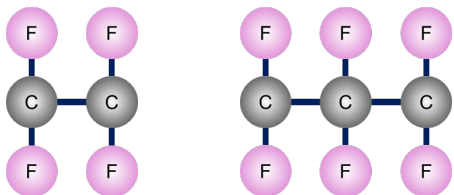
CO₂排出量 (kg)
= 電力量 (kWh) × 排出係数 (kg-CO₂/kWh)

※排出係数：0.423 (全国平均値)
新電力比較サイト (<https://power-hikaku.info/>)

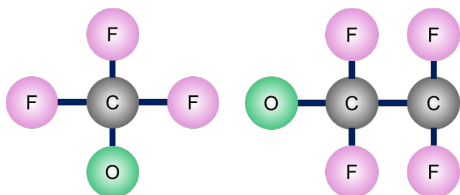
省エネかつエコなフッ素樹脂の分解技術を開発することに成功

電子線照射により生成するガス成分

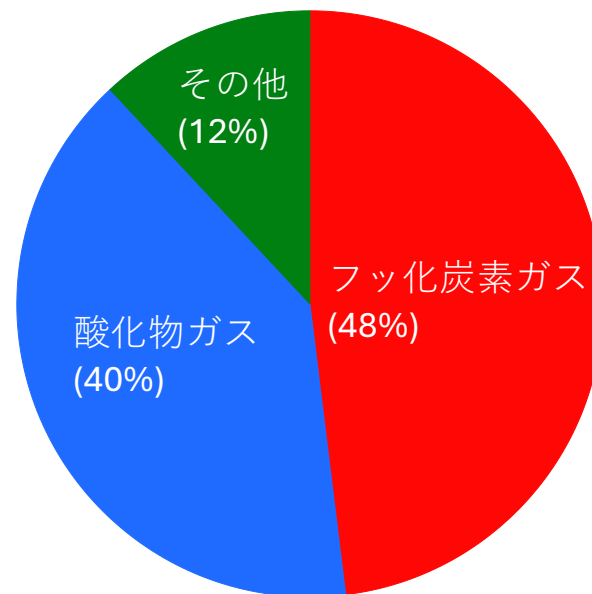
有機フッ素化合物



フッ化炭素ガス



酸化物ガス



フッ化炭素ガス → フッ素樹脂の製造

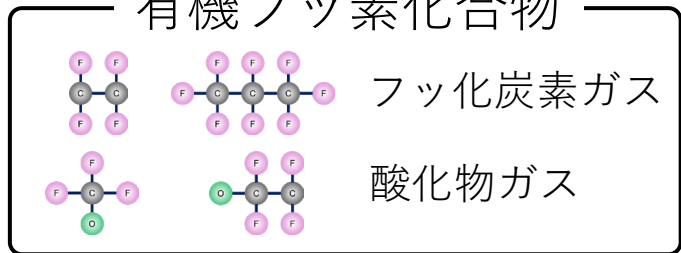
酸化物ガス → 医薬品等の製造

実用化に向けた課題

フッ素樹脂

【電子線照射 + 加熱】

有機フッ素化合物



従来の1/2のエネルギーとCO₂排出量で
フッ素樹脂を100%分解・ガス化

ガスの分離精製

回収・再利用

実用化のための課題

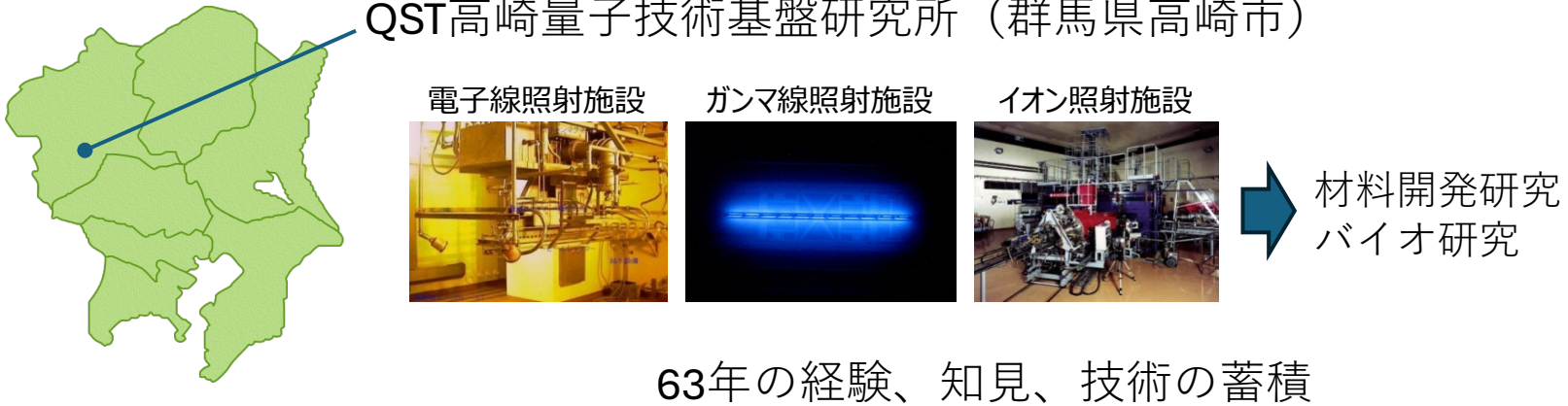
- ① 生成割合を制御する技術の開発
(電子線照射条件の最適化)
- ② 分解ガス成分の分離精製技術の開発
(低温分離、吸着分離、膜分離等)
- ③ 処理システムのスケールアップ
(装置設備の設計、均一な照射技術、
安全性評価等)

私たちと一緒に実用化のための課題クリアに挑戦していただける
パートナーを探しています

企業等へのPRポイント

QST高崎量子技術基盤研究所（群馬県高崎市）

電子線照射施設 ガンマ線照射施設 イオン照射施設



材料開発研究
バイオ研究

63年の経験、知見、技術の蓄積

- 幅広い分野の人材と研究環境
 - ・高分子、量子材料（無機材料）、生物関係の研究プロフェッショナル
 - ・充実した分析装置類
- 協力研究員受入れ制度
QST職員と一緒に研究開発に取り組んでいただけます（常駐／非常駐）。
次世代を担う研究人材の育成が可能です。

想定される用途

- ・ フッ素樹脂廃棄物の化学的分解・資源化によるリサイクル
- ・ 一般的なプラスチック廃棄物の高効率化学的分解・資源化
☞ 海洋プラスチック等の環境課題解決に貢献

- ・ 有害PFAS問題の解決
放射線照射を利用した水溶性PFOA分解の研究報告例：



Zhang, Z., et al., Complete mineralization of perfluorooctanoic acid (PFOA) by γ -irradiation in aqueous solution. Scientific reports, 2014. 4(1): p. 7418.

Trojanowicz, M., et al., Application of ionizing radiation in decomposition of perfluorooctanoate (PFOA) in waters. Chemical Engineering Journal, 2019. 357: p. 698-714.

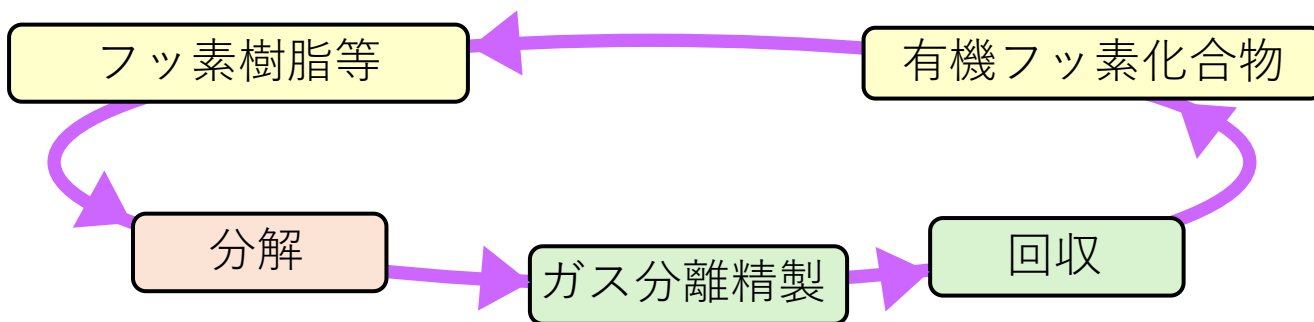
- ☞ 実規模レベルでの有害PFAS処理システムの構築

本技術に関する知的財産権

- ・ 発明の名称：
高分子材料の分解方法及び分解装置、高分子材料の構成単位化合物の製造方法及び製造装置
- ・ 出願番号：特願2024-114780（特開2025-15497）

まとめ

フッ素樹脂における資源・環境面の課題解決のため、
電子線照射を利用したフッ素樹脂分解技術を開発



本技術の成果

従来の1/2のエネルギー量、
CO₂排出量でテフロンを
100%分解し、有機フッ素
化合物へ転換

実用化のための課題

- ① 有機フッ素化合物生成割合を制御する技術の開発
- ② 分解ガス成分の分離精製技術の開発
- ③ 処理システムのスケールアップ

企業等との共同研究が不可欠

フッ素の資源循環を実現し、資源面、環境面の課題解決に貢献

お問い合わせ先

量子科学技術研究開発機構

イノベーション戦略部 知的財産活用課

T E L : 043 - 206 - 3027

e-mail : chizai@qst.go.jp