

第2回産総研シンポジウム
窒素循環に関する世界的課題と
日本における取り組み



窒素循環技術開発の取り組み

窒素循環プロセスシステム の合成・評価

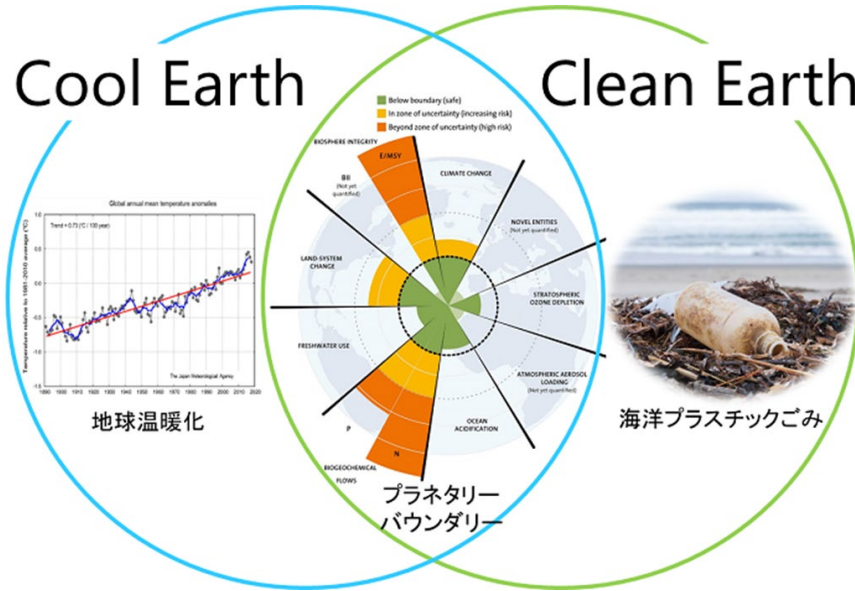
令和4年11月21日

東京工業大学
物質理工学院応用化学系

准教授 松本 秀行

窒素循環プロセス技術開発における 2つの視点

地球温暖化問題
の解決



環境汚染問題
の解決

NEDO：ムーンショット型研究開発事業のHPより (https://www.nedo.go.jp/activities/ZZJP_100161.html)

エネルギー消費と反応性窒素の自然界への排出を最小限にしつつ、反応性窒素を NH_3 資源として利用できる形態に変換する化学プロセスの創成

経済的実行可能性

環境影響



Green Chemistry から Green Engineering へ

エネルギー消費と不必要な副生成物の発生を最小限にしつつ、危険物質の使用を不要もしくは削減できる化学プロセスの創成

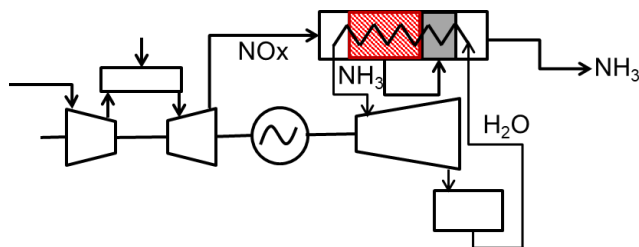
創成された化学プロセスの経済的実行可能性と効率性の検討

- プロセス設計と環境・安全・健康評価の一体化
- 設計と商業化の一体化
- 学会と産業界の一体化

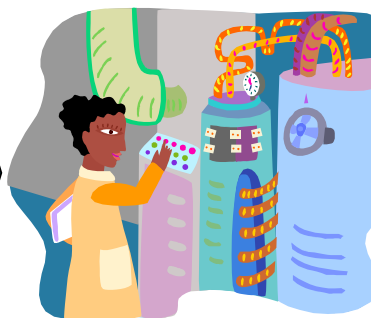
持続可能な社会の発展



研究開発



プロセス設計



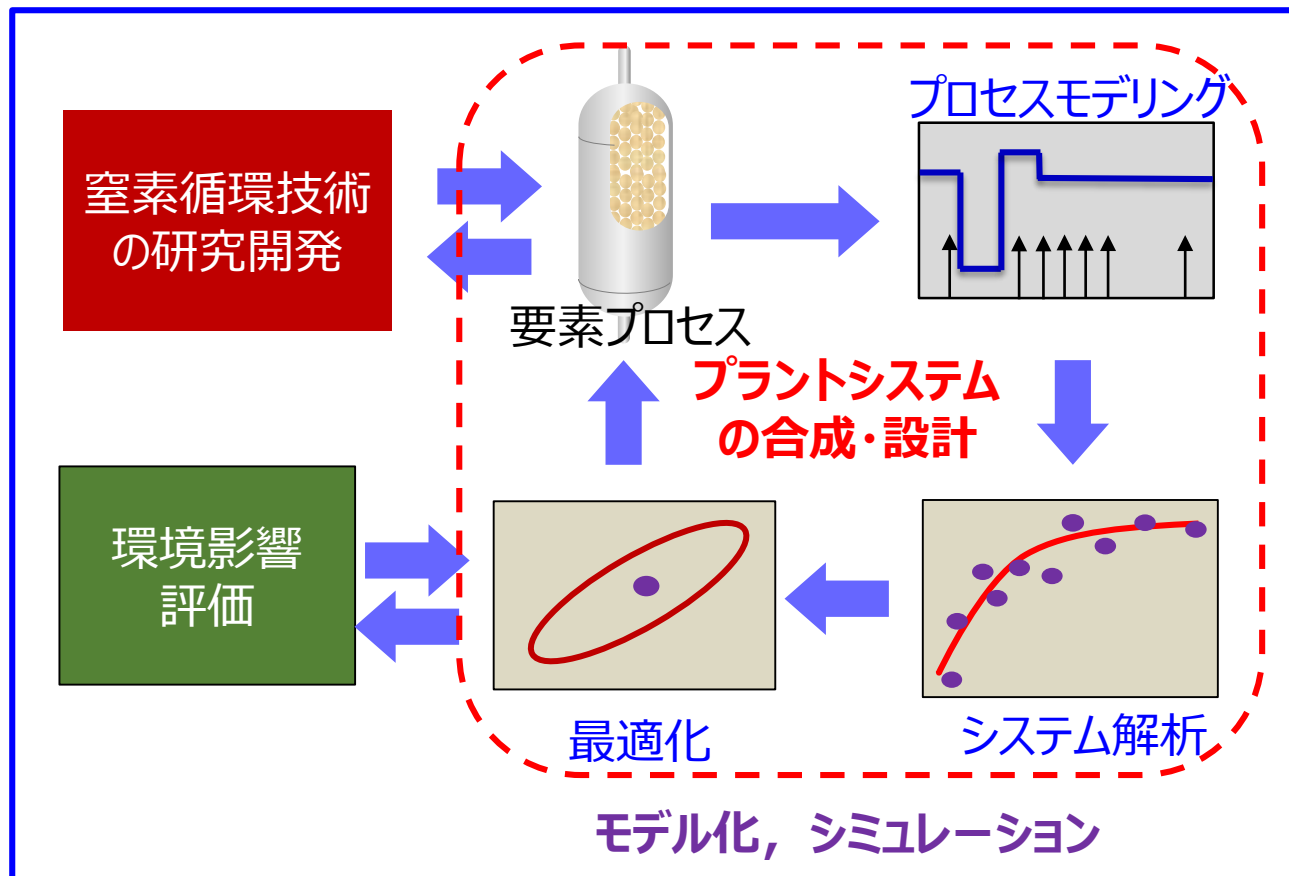
実証試験

プラント
建設・運用

窒素循環プロセスシステムの合成・評価

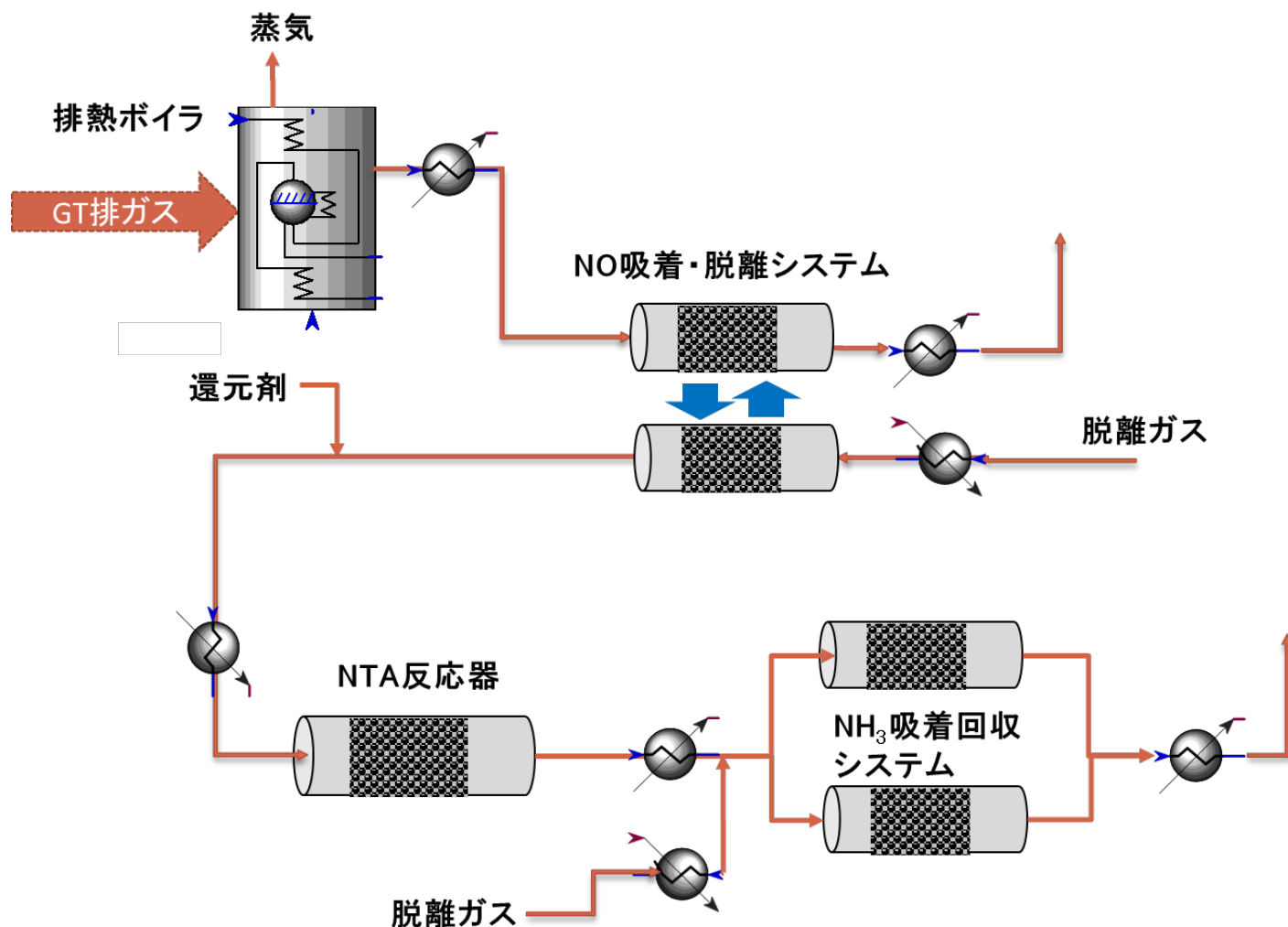
窒素循環技術の研究開発のリードタイムを短縮するために

- 開発要素技術の導入ケースの作成
- プロセスシミュレーションによるプラントシステム全体の設計
- システム全体の設計情報を要素技術の研究開発にフィードバック



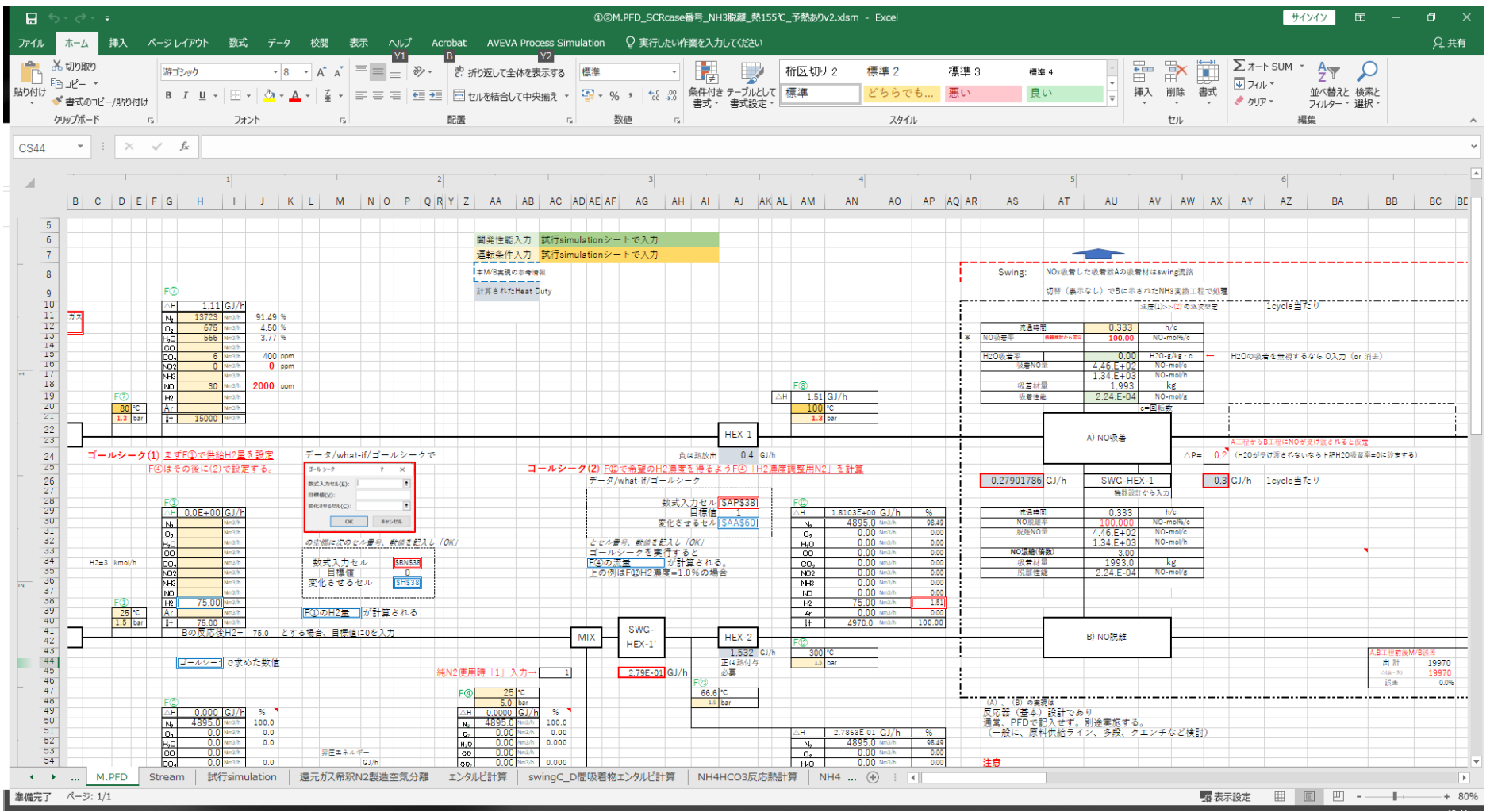
物質・熱フローの作成とプロセスの実用化検討

- 要素プロセス間の物質と熱の流れを定量的に可視化できるモデルの作成
- 化学工場への導入方法の検討
- 実証試験プラントの絵姿の検討のための熱の回収・利用ネットワークの検討

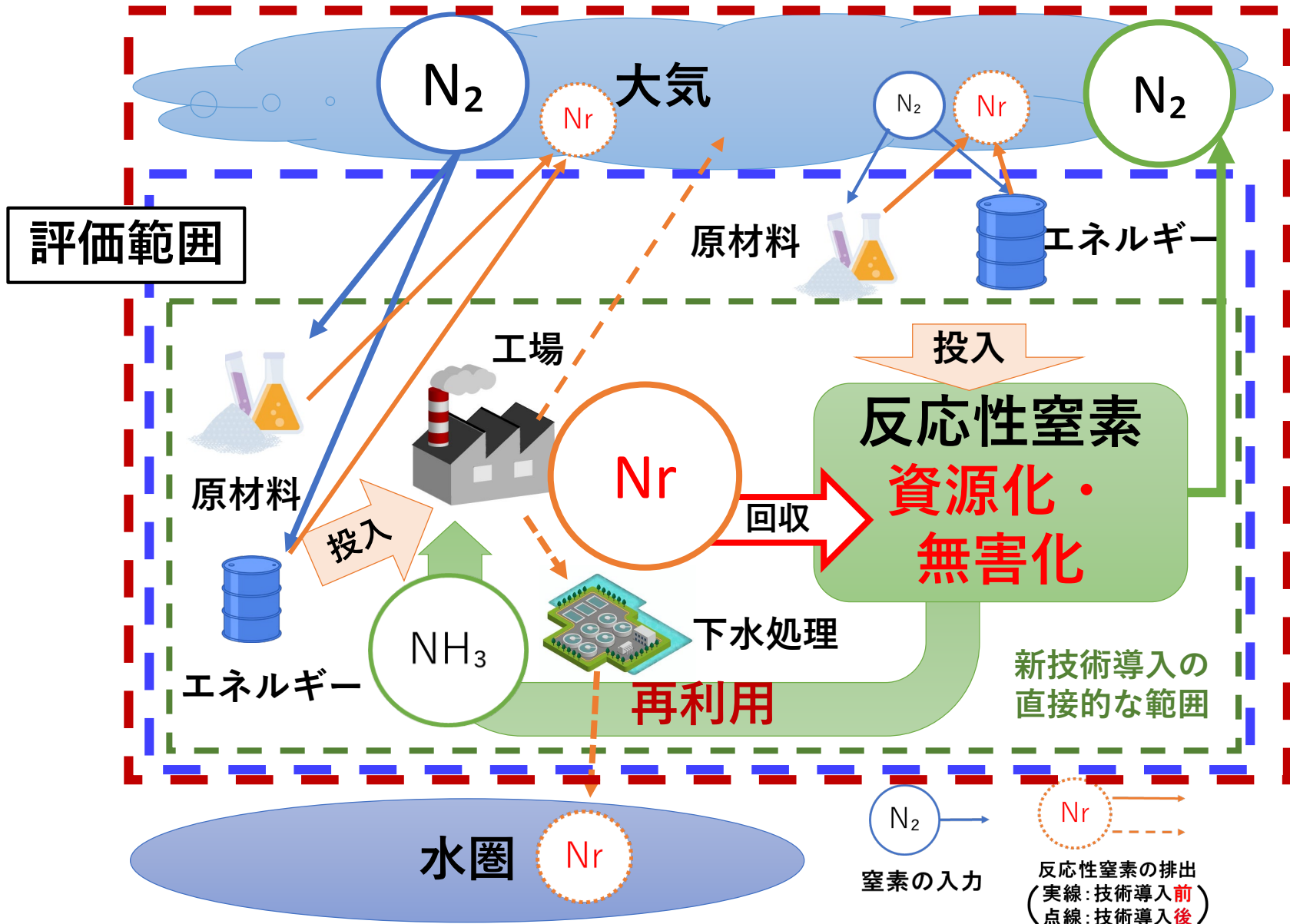


物質・熱フローの計算・可視化モデルの作成

多くの研究者が利用しやすいように、Excelで
モデルとシミュレータの作成

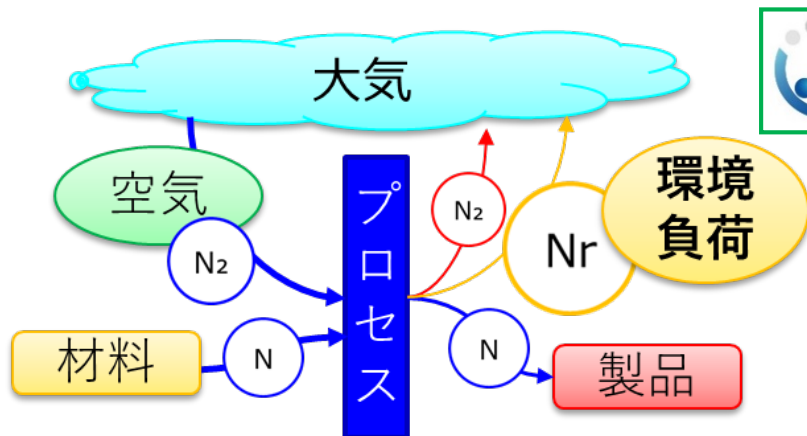


窒素循環技術の環境影響評価



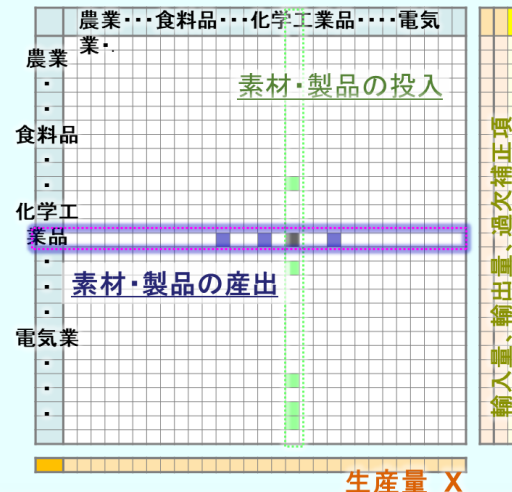
ライフサイクルアセスメント(LCA)の導入

◆化学工業製品を中心とした窒素化合物のインベントリデータ開発



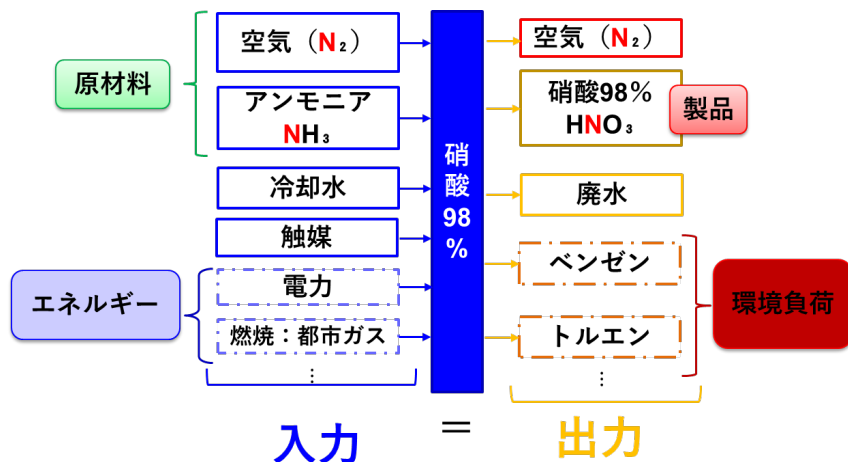
環境負荷としての反応性窒素だけでなく、材料に含まれる窒素、製品に含まれる窒素、大気に戻る窒素など、プロセスに入出力される全ての窒素を対象にデータを整備

物量連関表



窒素に関わる製品のサプライチェーンの可視化

◆窒素インベントリデータ事例（硝酸98%[1kg]の製造）

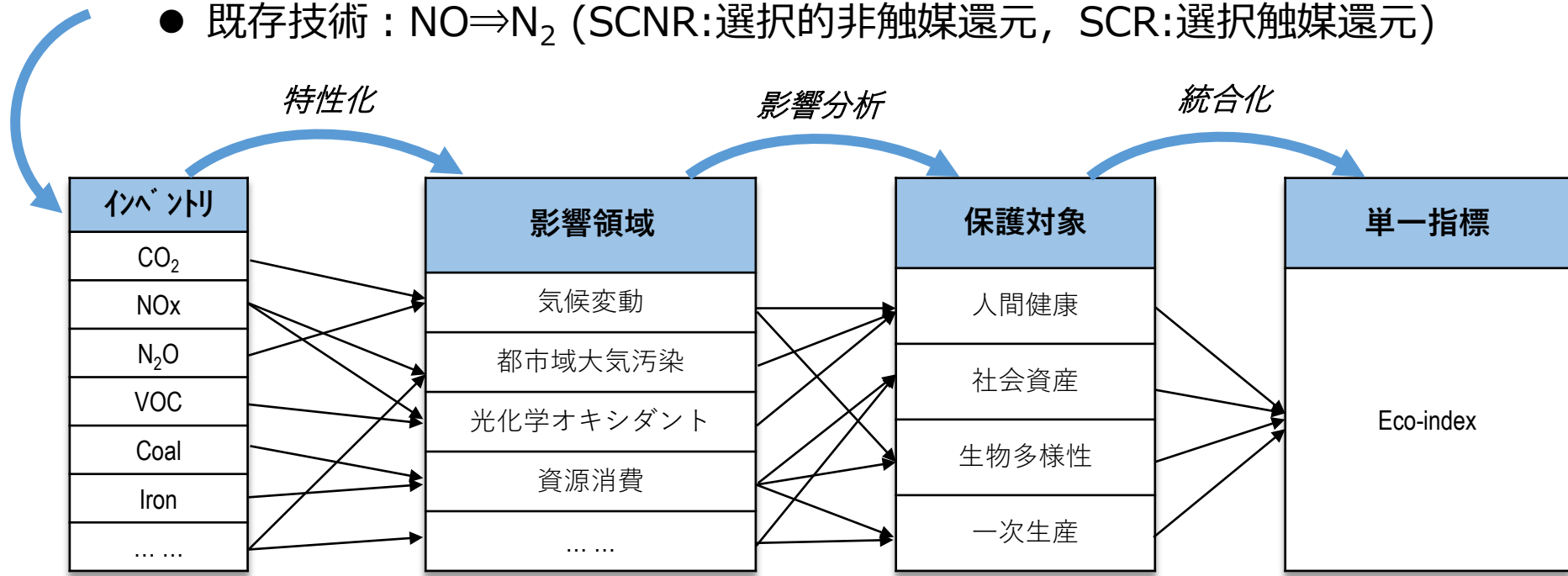


項目	入力	出力	差分	検証
マスバランス				○
炭素:C				○
窒素:N				○
リン:P				×
水				○

窒素資源循環技術の導入による効果を産業レベルで分析する。

ライフサイクル影響評価(LCIA)による検討

- 開発技術 : $\text{NO} \Rightarrow \text{NH}_3$ (NTA+ NH_3 吸着)
- 既存技術 : $\text{NO} \Rightarrow \text{N}_2$ (SCNR:選択的非触媒還元, SCR:選択触媒還元)



いくつかの仮定のもと、13種類のインパクトレベル・4種のダメージレベルを試算

SNCR	3.64E-03	2.94E+04	1.82E-11	8.36E+01
SCR	1.39E-03	1.34E+04	3.92E-10	5.43E+01
ReNOx	2.29E-04	1.61E+03	9.85E-11	6.16E+00

人間健康 (DALY)
社会資産 (JPY)
生物多様性 (EINES)
一次生産 (kg DW eq.)



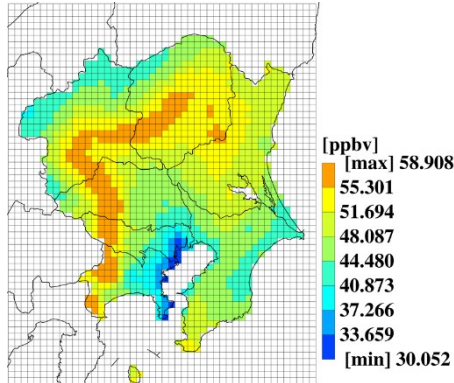
単一指標(JPY)

SCNR	8.58×10^4
SCR	4.19×10^4
開発技術	7.16×10^3

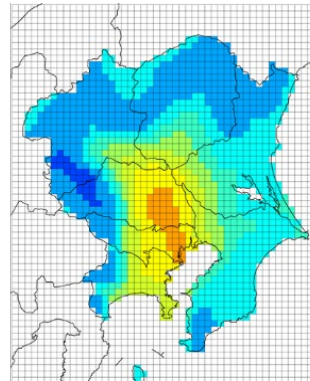
大気質モデルによる環境影響評価

◆ADMER-PROによる窒素酸化物の段階的排出削減効果の解析

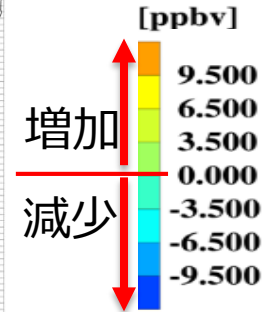
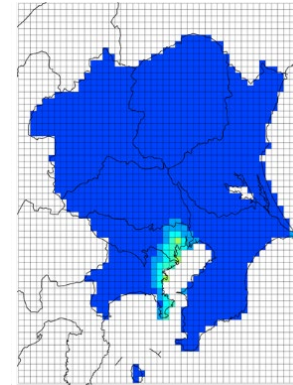
ベースケースのオゾン濃度
(2016年暖候期)



NOx50%削減時の
オゾン濃度変化



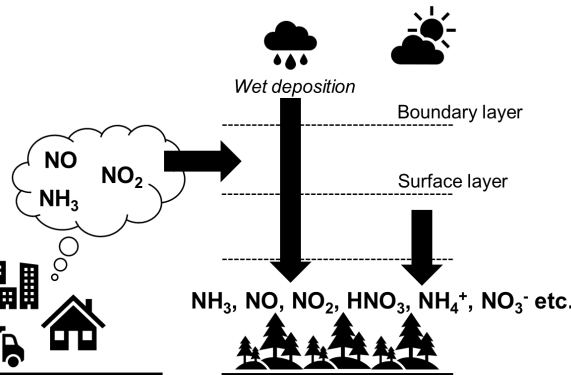
NOx100%削減時の
オゾン濃度変化



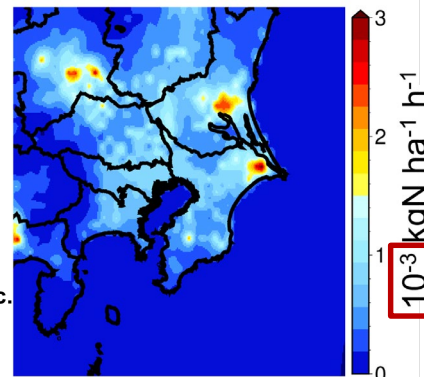
Vazquez et al.; Atmosphere (2022年7月掲載)

◆大気質モデルCMAQ*による人為的窒素 (N) 排出のN沈着量への感度解析

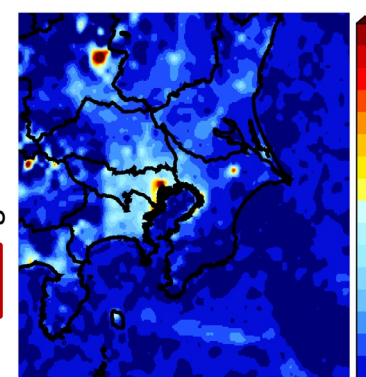
*米国EPAで開発されており、PM_{2.5}推計、沈着、感度解析の各モデルが搭載されている



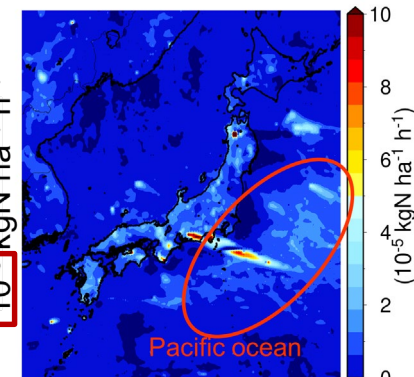
N沈着のイメージ



(a)NH₃のN沈着への感度



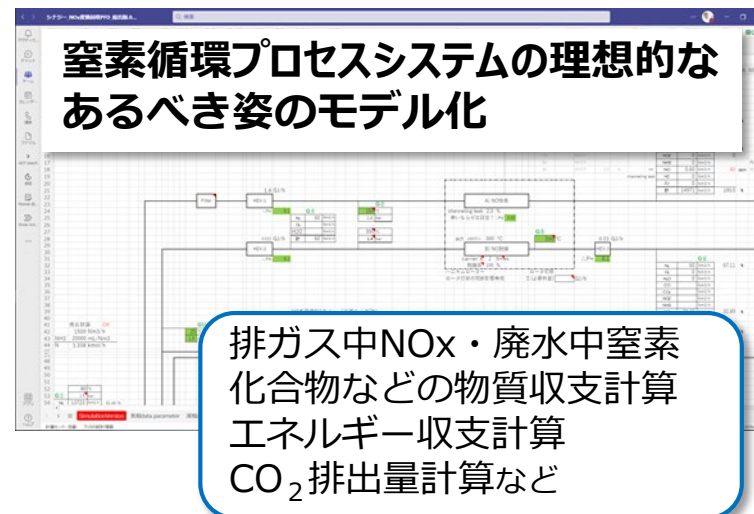
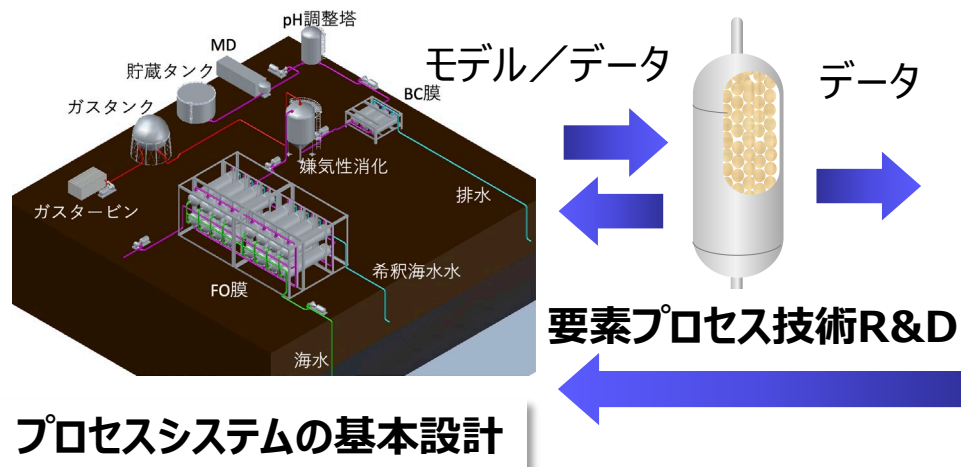
(b)NO_xのN沈着への感度1



(c)NO_xのN沈着への感度2

Hata et al.; Atmos. Environ. (2022年4月掲載) 10

窒素循環プロセスシステムの合成(概念設計)の段階において、従来の窒素化合物処理プロセスに比べて投入エネルギー量および二酸化炭素排出量が低いプロセスを見出せている。



■ LCAによる窒素循環技術導入の評価

化学工業製品を中心とした窒素化合物インベントリデータおよび物量連関表

■ 窒素化合物循環のリスク評価

ヒト健康改善便益, (森林の生物多様性損失への影響)

ライフサイクル影響評価
(Life Cycle Impact Assessment: LCIA)

システム全体設計と多元的評価を支援するシミュレーション手法の発展が重要