



化学工学会第79年会 化学産業技術フォーラム
「次世代エネルギー社会に向けて科学技術の貢献」
平成26年3月18日

科学者に期待されるふたつの役割

—エネルギー分野を例として—

笠木 伸英

東京大学 名誉教授

(独) 科学技術振興機構 上席フェロー

文部科学省 技術参与

- 科学者の役割
- 研究者としての科学者
- 助言者としての科学者
- エネルギー分野の課題
- 結び

科学者への期待

- 東日本大震災後の政策課題：
復興再生，エネルギー計画，製造業の空洞化，少子高齢化，世界の経済危機，財政逼迫など



(2013.12.19 日本アカデメイア)

- 科学技術基本計画によって研究の水準は上がったが，各研究者による研究成果は分散したまま
- “第3の矢”としての科学技術イノベーション総合戦略

科学の社会契約

■ ICSU/UNESCO World Conference on Science ブタペスト宣言 (1999)

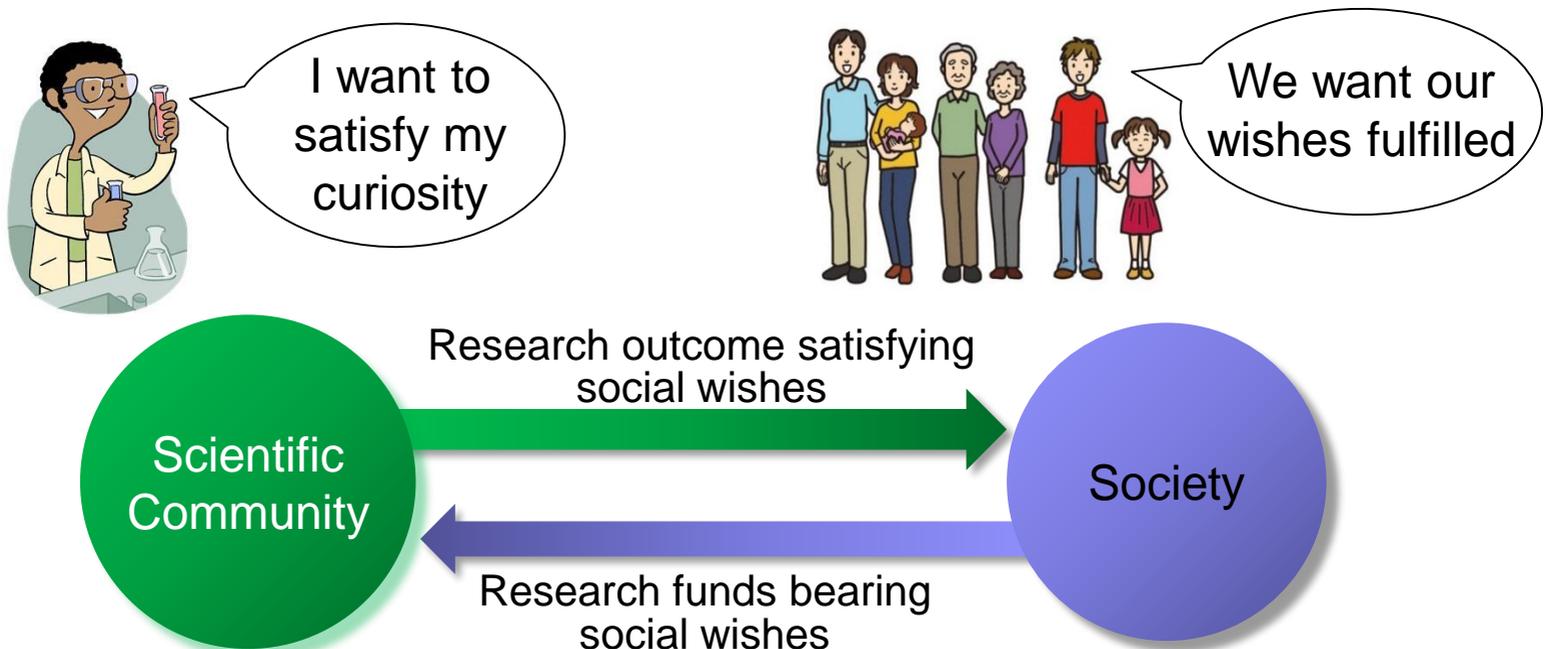
➤ 社会の中の, 社会のための科学

DECLARATION ON SCIENCE AND THE USE OF SCIENTIFIC KNOWLEDGE
adopted by the World Conference on Science, Budapest, Hungary, 1 July 1999.

1. Science for knowledge; knowledge for progress
2. Science for peace
3. Science for development
4. **Science in society and science for society**

社会における科学者の二つの役割

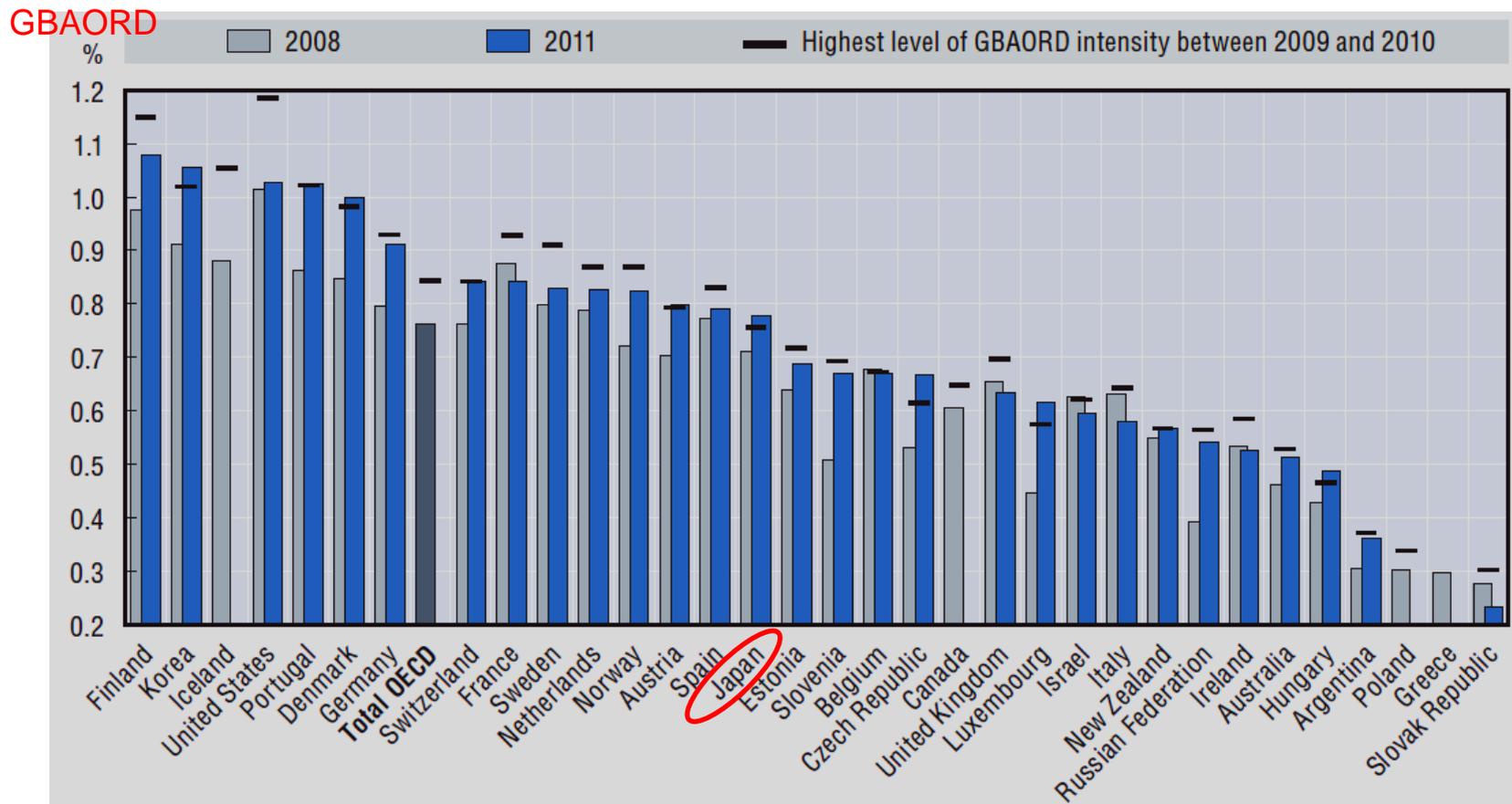
- ① 社会的便益を目的として科学的知識を創造し(研究開発), 次世代へ継承(教育)
- ② 政策立案と合意形成に対して科学的な助言を呈示



■ Social Contract for Science: 公的資金を得て研究を進める科学者の特権に伴う社会的責任 (J. Lubchenco, Science, '98)

(Kasagi, N. et al., AAAS Meeting, Boston, Feb. 2013)

Research Funding as a % of GDP for 2008-11



GBAORD: Government budget appropriations or outlays for R&D as a % of GDP

- 科学者の役割
- 研究者としての科学者
- 助言者としての科学者
- エネルギー分野の課題
- 結び

科学者の公正な行動

- 科学研究の公正性 (**Research integrity**)
 - 研究上の不正行為、研究費不正使用の続発
 - ノバルティスファーマ社降圧剤バルサルタンに関わる不正疑惑
- 研究倫理 (**Research ethics**)
 - 科学技術の光と影、取り組む研究課題の選択、研究成果のデュアルユース
 - 臓器移植、人工授精、再生医療
 - 遺伝子操作 (感染症、クローン技術、食料生産) (Ex. 鳥インフルエンザ (H5N1) ウイルスの変異報告)
 - 軍事防衛技術 (GPS、ネットワーク、無人兵器)
- 科学者の法律的責任 (**Liability of scientist**)
 - 2012年10月、イタリアのラクイラ地震に関連する科学者に対する実刑判決

研究開発課題をいかに探索するか？

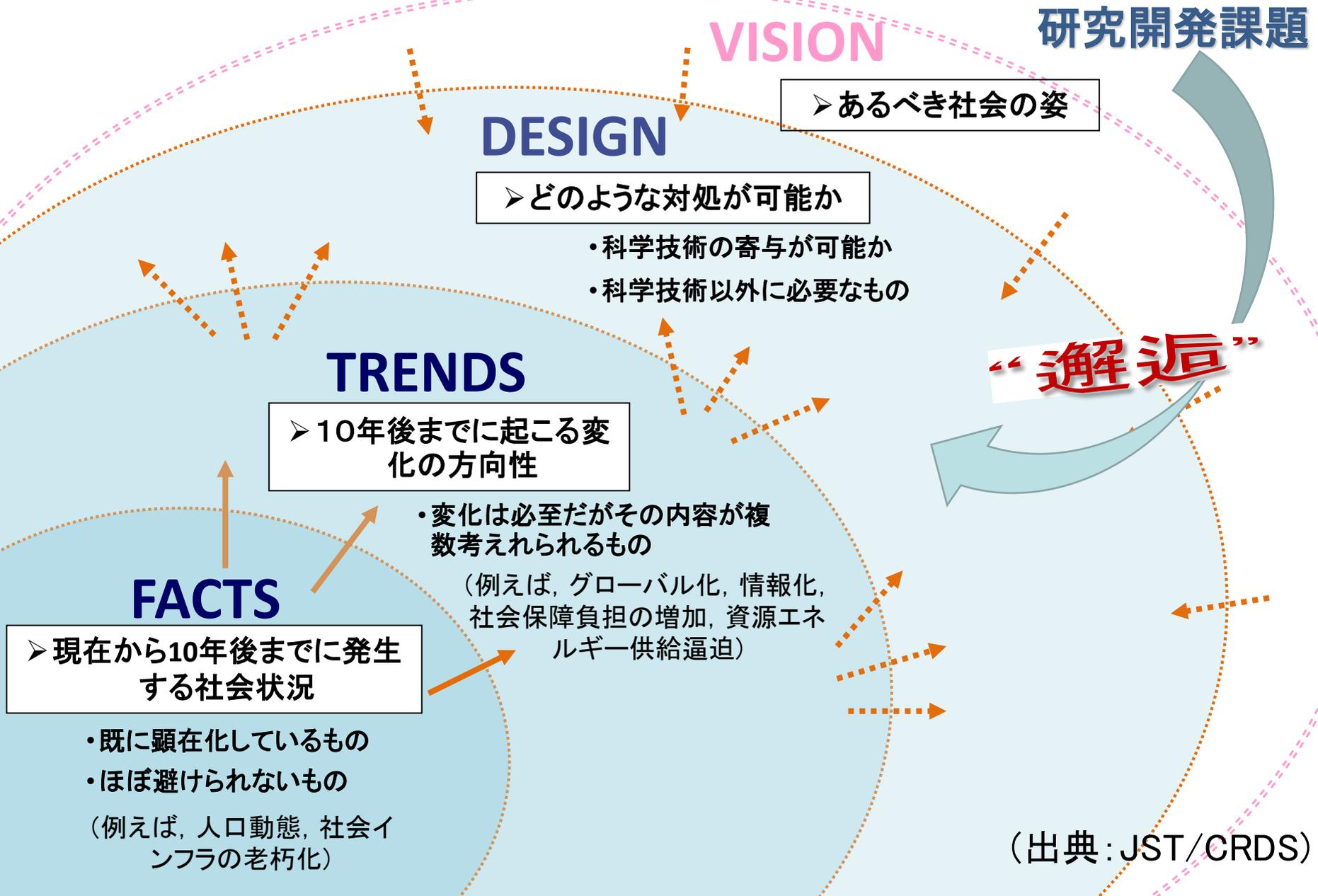
課題解決型イノベーションのための課題設定

- 特定の科学、技術分野の視点からの課題設定
- 恣意的な課題把握、陳情型提案
- 異分野の融合や連携が実現しない
- 課題とは何か？課題設定の前提となる社会的期待は何か？

社会的期待発見研究に基づく

領域横断的研究開発課題の構成の必要性

社会的期待の発見と研究開発課題の構成



(出典: JST/CRDS)

豊かな持続性社会：ビジョンと主要な社会的課題

◆ テーマ1:国際連携ができる社会

◆ テーマ2:地球環境・エネルギー問題への対応力がある社会

2-1	日本におけるエネルギーベストミックスの実現に向けた既存エネルギーの革新と次世代エネルギーの拡大に関する技術開発
2-2	Smart Rural(仮称)の構築に向けた地域環境適合型エネルギーシステムの開発
2-3	高効率エネルギー都市の創造に向けた実空間における人、物、エネルギーの流れの解明と効率化に関する技術開発
2-4	エネルギー環境政策立案への活用に向けた社会予測技術の開発
2-5	エネルギー長期安定供給確保のための国際戦略を支える基盤技術の構築

◆ テーマ3:社会インフラの保守・修復・構築力がある社会

3-1	自然災害対応型社会インフラのデザインと構築
3-2	地域・都市単位での、インフラ構築・保守・運営の最適化

◆ テーマ4:心身の健康寿命がのばせる社会

4-1	超高齢化・人口減少を見据えた社会デザインに資する予測科学の推進
4-2	高齢者が社会的・経済的価値を生み出す社会システムの構築に向けた研究開発
4-3	医療の最適化に資する疾患リスクマネジメントシステムの構築
4-4	超高齢社会における低コスト医療・介護システムの構築
4-5	医療・健康産業の国際化に資する研究開発プロセスの革新

◆ テーマ5:1人ひとりが能力を発揮できる社会

- 科学者の役割
- 研究者としての科学者
- 助言者としての科学者
- エネルギー分野の課題
- 結び

福島事故後に科学者が関わった事象

- 緊急時の各セクターの役割と責任，指揮系統，法的根拠？
 - 官邸，原子力安全委員会，経産省原子力安全・保安院，東電，事故対策統合本部，プラント・機器メーカーの責任範囲？
- 科学者の役割が法的にも道義的にも曖昧
 - 政府は科学的助言を対策に採用したのか，否か？
 - 官邸や政治家の要請で動員される科学者の採るべき行動は？
 - メディアに動員された科学者の言動は？
- 科学者の合意された声が形成されず
 - 事故現場の詳細情報，発電所施設情報が開示されず。
 - 学術会議，各学協会などが，社会が求める助言をタイムリーに発信したか？
 - 科学者の助言の公表の原則は？複数の専門家によるレビュー，相違する意見の表明は？
- 国際社会，海外アカデミア，海外科学者への説明不足
 - 事故情報の提供，連携協力による対策構築において不十分．日本への信頼性を損なう懸念．

科学的助言形成プロセスの実現

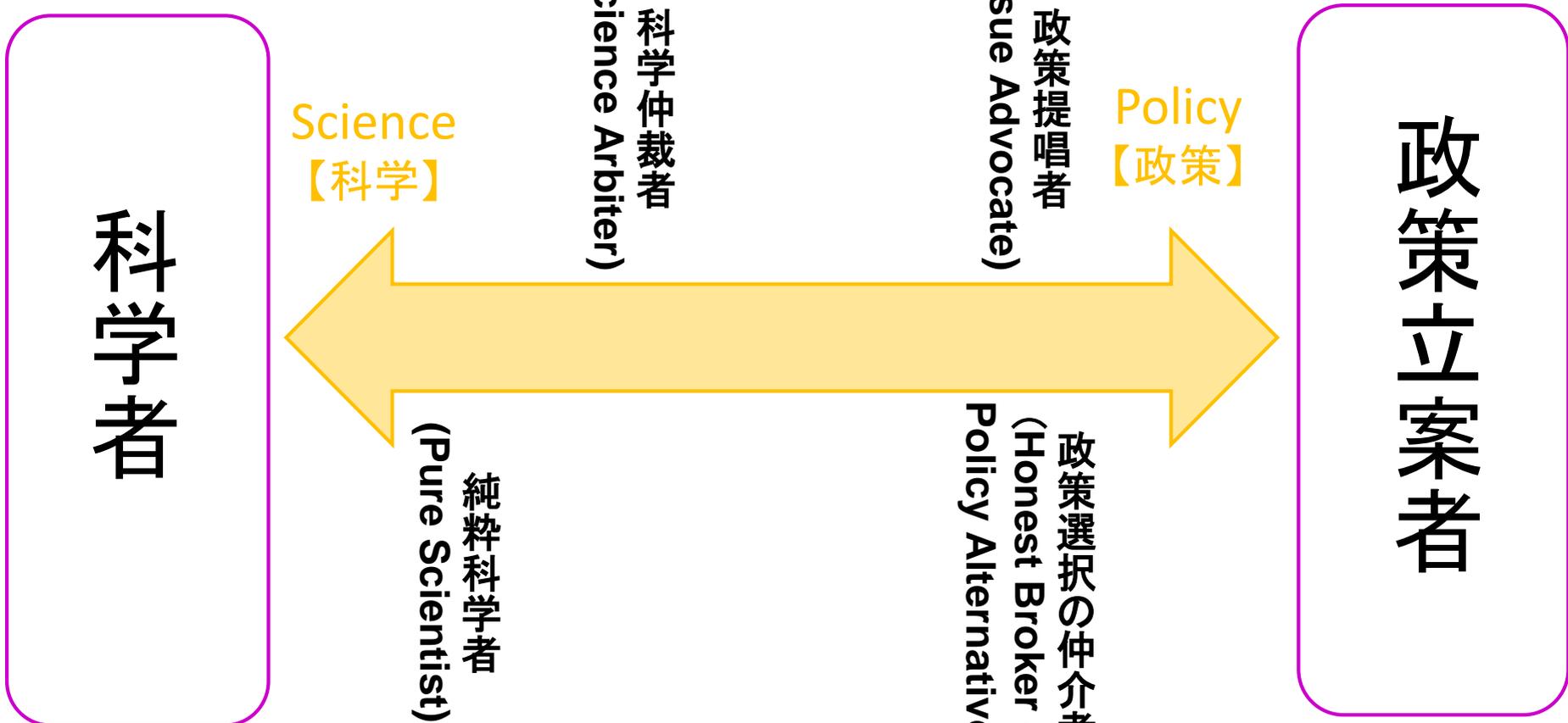
—社会と科学の持続的進化に向けて—

政策, 研究開発, あるいは社会的合意形成のための科学的助言(平時, 緊急時)

例: エネルギー, 環境, 食料, 医療, 教育, 公害, 薬害, 原発事故

- 科学者の助言の公正性を担保する仕組みの不在
 - 合意された科学者の声 (Coherent Voice) の形成
 - 政策立案過程での科学的助言の公正性を担保する制度
- 科学者の助言に対する社会との理解共有は不十分 (法的な責任: 福島事故, ラクイラ地震)

助言者としての科学者



政策課題と科学者の助言

政策と政治における科学の役割

Tornado Politics



yes

政策決定は、価値観の一致と許容できる科学的不確かさを前提とするか？

no

政策決定に関与するか？

yes

no

Pure Scientist
純粋科学者

Science Arbiter
科学仲裁者

Abortion Politics



選択の範囲を絞り込むか？

yes

no

Issue Advocate
政策提唱者

Honest Broker
科学仲介者

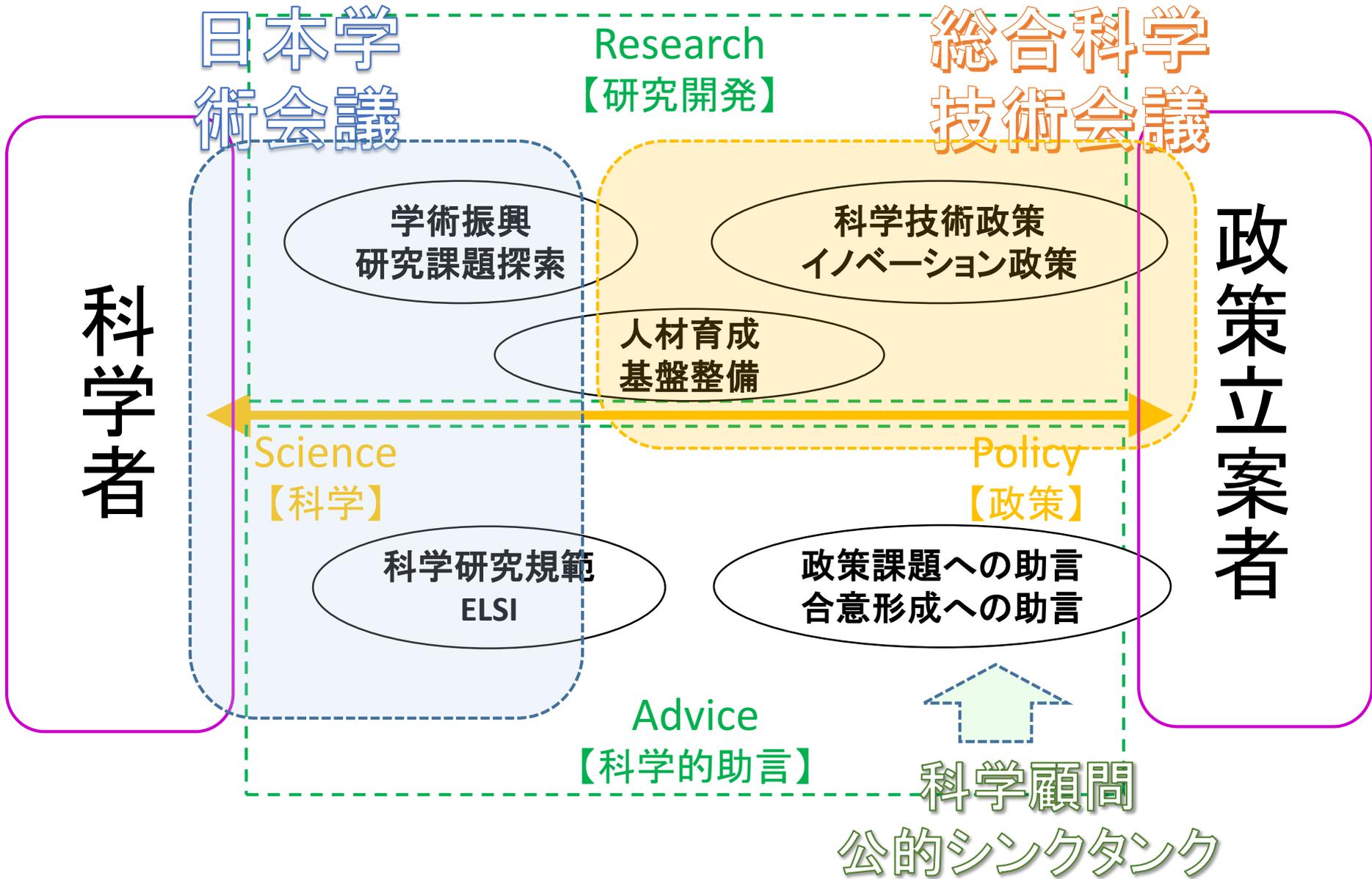
助言者としての科学者とは

- 純粋科学者 (Pure Scientist)
 - 関係する要素についての基礎的な科学的知見のみを提供
 - 政策選択を暗に導く知識が含まれ得る (stealth issue advocacy)
- 科学仲裁者 (Science Arbiter)
 - 政策決定者が必要とする問いに客観的事実をもって回答, 何を選ぶかを指図しない
 - 政策選択を暗に導く知識が含まれ得る (stealth issue advocacy)
- 政策提唱者 (Issue Advocate)
 - 政策オプションの中で, ある特定の (条件に適合する) 政策を推奨
- 政策選択の仲介者 (Honest Broker of Policy Alternatives)
 - 全ての有用な科学的知識, 客観的事実を提供, 政策決定者の主義や価値観に沿った絞り込みを助ける
 - 網羅的あるいは限定的な知識の提供, 複数の分野の科学者の支援

科学のための政策 (Policy for Science) と 政策のための科学 (Science for Policy)

- 総合科学技術会議
- 政府内の委員会・審議会
- 日本学術会議
 - 学協会 (専門を同じくする科学者集団)
- 公的シンクタンク
 - NISTEP, CRDS(JST), GRIPS, RIETI,
- 主席科学顧問, 省庁科学顧問(?)

科学的助言機能の強化

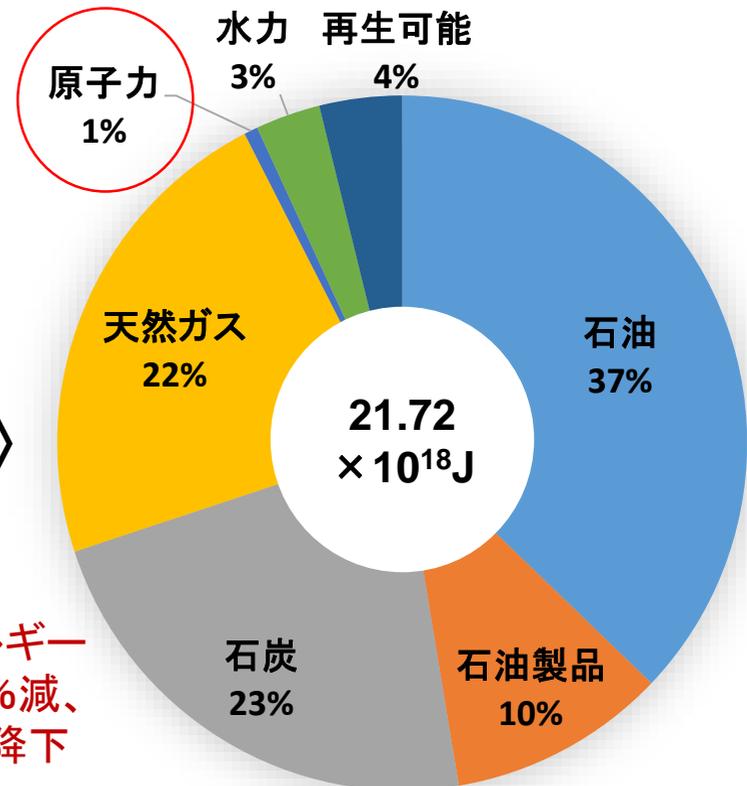
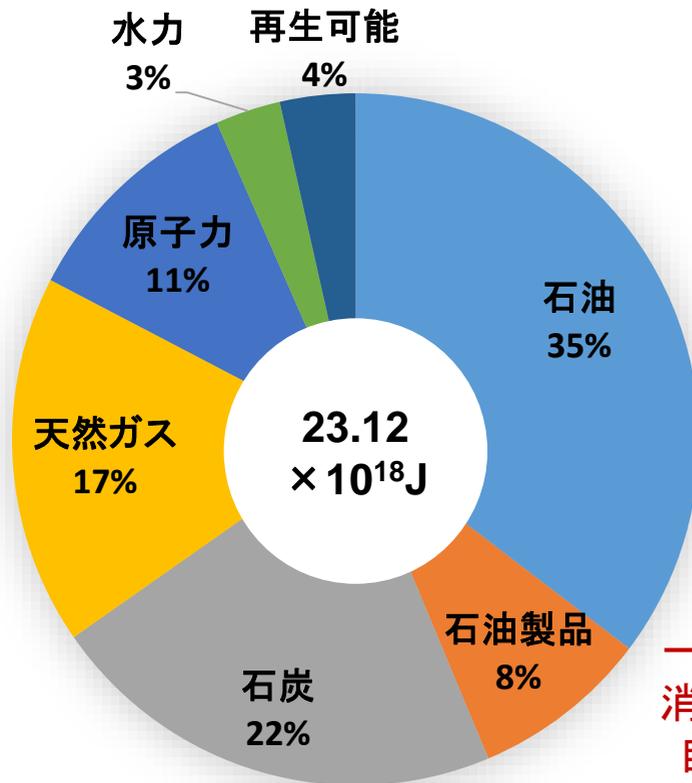


- 科学者の役割
- 研究者としての科学者
- 助言者としての科学者
- エネルギー分野の課題
- 結び

日本の一次エネルギー供給

FY2010

FY2012



一次エネルギー消費は6.1%減、自給率の降下

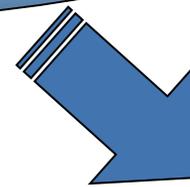
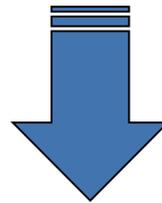
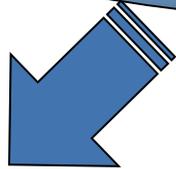
温暖化ガス排出量
12.57億トン(CO2換算)

温暖化ガス排出量
13.41億トン(CO2換算)

京都議定書基準年比の総排出量目標(-6%)
に対し、6.3%(7,980 万トン)の増加

エネルギー問題の基本骨格

3E+Sの同時克服



暮らしの豊かさ

経済, 便益, 分配, 衡平性

人間活動の省
エネ・省資源

エネルギーセキュリティ

脱化石資源

炭酸ガス排出削減, 環境・生態系保全

温暖化ガス隔離

$$\dot{C} = N \left(GDP/N \times \dot{E}/GDP \times \dot{C}/\dot{E} \right)$$

Energy Intensity

Carbon Intensity

$$-\dot{M}_C$$

高効率化、低炭素化、平準化

日本のエネルギー計画に関する基本的戦略

■ エネルギー計画の基本的視点

- ① エネルギー消費量削減を最重要視(高効率化, 省エネ, 平準化等による)
- ② 当面, 天然ガス, 石炭の効率的利用により電力の安定供給を確保
- ③ 再生可能エネルギーを積極導入, 経済的歪みを引き起こさずに
- ④ スマートな分散型エネルギーシステム(再生可能エネルギーの統合, 総合効率, 危機対策, 自立)
- ⑤ 温暖化ガス排出削減策シナリオとの整合性を担保(国際的枠組み構築への主体的参画、海外支援)
- ⑥ 資源確保戦略(ベストミックス, 多様化, ただしアジア, 米国との連携に留意)

■ 原子力エネルギーについて

- ① わが国のエネルギーミックスの中では, 他のエネルギー源を補完するものとして位置付け, 原子力発電の量的必要性を評価
- ② 関連技術の高度化には継続して取り組み, 世界の格差是正, 温暖化対策に貢献
 - 核燃料サイクルに技術的な答えを出すことを目標に研究を重点推進
- ③ 原子力安全保障など外交的な課題もウオッチ

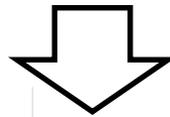
エネルギー効率への挑戦

(笠木試算)

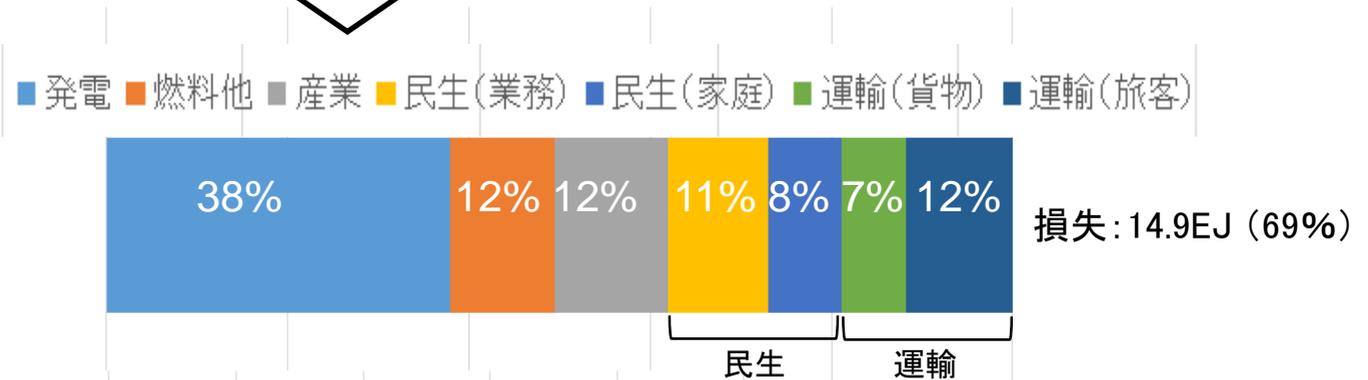
FY2012
エネルギー
消費量:
21.72EJ



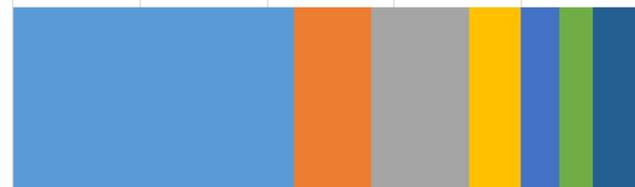
7割近くのエネルギーが
無駄に！



【損失の内訳】



もし、発電効率を60%に、民生、運輸部門の損失を半分にしたら？



損失: 10EJ

一次エネルギー供給を
20%以上削減

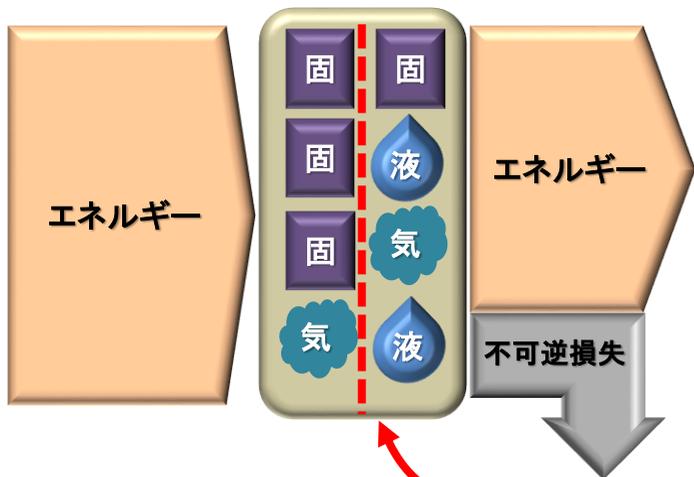
概要

本戦略目標では、エネルギー転換・輸送・貯蔵・利用プロセスに付随して生じる様々な相界面現象(吸着・吸蔵、触媒、電気化学、伝熱、熱電変換、光電変換)に着目し、その基礎学理と、それに基づいた、高機能界面の創成、モデリングおよびシミュレーション、制御・最適化のそれぞれに関わる基盤技術の創出に資する研究を推進する。

期待される成果

- ・高効率太陽光熱エネルギー利用ホームシステム
- ・高効率燃料電池発電システム
- ・高効率火力発電プラント
- ・高効率空調給湯マルチ熱利用システム
- ・高効率高速輸送機器(車両、航空機)
- ・高効率純水・超純水生産システム

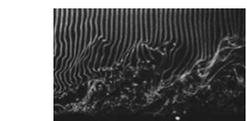
エネルギー利用システム
(転換・輸送・貯蔵・利用等)



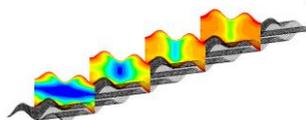
エネルギー問題への貢献

エネルギーセキュリティ、国際競争力向上、
温室効果ガス排出削減

省エネルギー技術
新エネルギー技術



低乱流摩擦抵抗表面

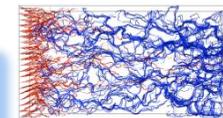


新機構伝熱促進面

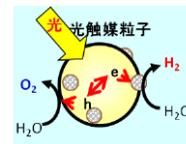
- ・潜熱熱分離デシカント空調
- ・極限冷却技術
- ・超断熱技術 等

未踏の原理的限界性能の
達成による貢献

マルチスケールモデリング
&シミュレーション
数理科学による制御・最適化



低過電圧な
燃料電池電極



技術原理の革新
による貢献

- ・高効率太陽電池
- ・高ZT熱電変換
- ・超選択透過膜 等

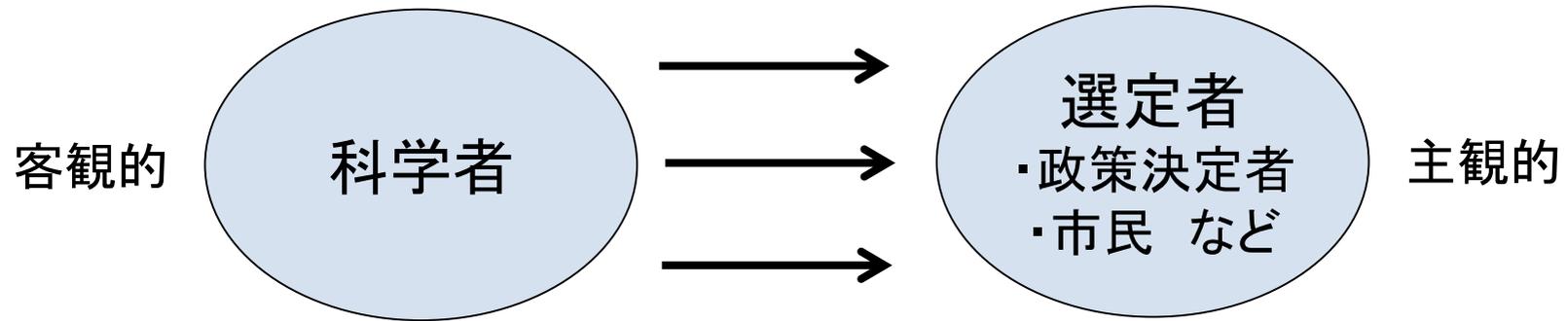
界面不可逆性の抑制
新規界面現象の利用

相界面現象の基礎学理と制御・最適化

合理的な政策形成の方法論の必要性

- 国の**科学技術政策**に対する国民の信頼を得るためには、公正で透明な立案プロセスが不可欠
- **政策形成プロセス**をエビデンスに基づいて客観的、論理的に進める方法論
- **客観的評価と政策的判断の分離**が必要
 - 客観的評価には科学的知識に基づく科学者の知識と助言が不可欠

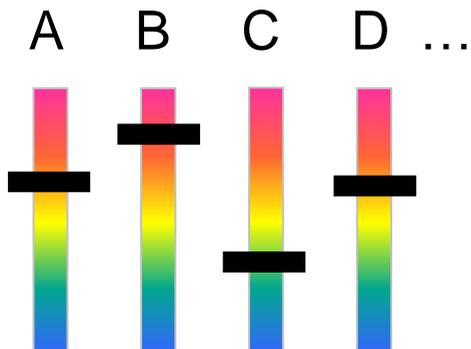
科学的根拠と政策的判断の分離と定量化



目標技術の指標別評価 $\rightarrow p_i$ 選定における重み付け $\rightarrow w_i$

- 科学的な評価と主観的な判断を明確に分離し、選定の根拠や議論の論理性を明示
- 選定者の論理的判断を促し、選定者間の意見の相違点を明確化

各々の目標技術に対する評価



優先順位付け (Priority Setting):

$$P = \sum_i^N w_i p_i, \quad \sum_i^N w_i = 1.0$$

エネルギー政策の立案のための科学的評価指標

安定供給性	環境性(安全性)	経済性
<ul style="list-style-type: none">• 国別資源埋蔵量(偏在度)と可採年数(化石資源, 核燃料資源)• エネルギー資源供給安定性(海外依存率, 自主開発率)• 国際市場での燃料価格安定性• 時間変動, 年間平均設備利用率(自然エネルギー)• プラント稼働率(点検期間, 修繕期間)• 負荷変動追従性• 災害緊急時, 孤立地域のエネルギー供給などの防災対応	<ul style="list-style-type: none">• 大気汚染(NO_x, SO_x, 煤塵), オゾン層破壊(フロン系冷媒), 温排水• 気候変動(温暖化効果ガス)• 放射性廃棄物, 放射性汚染(原子力)• 食料供給との整合性, 窒素, リンなど特定元素の高濃度化(バイオマス)• 生態系, 生物多様性への影響	<ul style="list-style-type: none">• LCA, エネルギープロフィット比, エネルギーペイバック年数• 燃料費(原価, 転換, 輸送, 貯蓄), 材料費, エネルギー単価, 発電単価• 燃料などの価格変動に対する事業安定性• 研究開発費, 機器製造費, プラント建設費, プラント面積, 設置工事費, 環境対策費• 環境アセスメント期間, 設置・建設期間• プラントメンテナンス費, 廃棄物処理費, プラント廃棄費• 災害, テロに対する対策コスト, 復旧費と復旧時間, 事故被害の補償費• エネルギー産業としての経済効果, 雇用

エネルギー・環境分野研究課題の優先度

【エネルギー分野(25件)】

- S1 低品位固体炭素利用
- S2 メタンハイドレート利用技術
- S3 超高温材料と伝熱技術
- S4 革新的電気化学的反応器
- S5 超高効率SOFC
- S6 高効率石炭火力発電技術
- S7 劣質炭素製鉄
- S8 排熱利用低温吸熱触媒
- S9 石油化学品の革新的製造
- S10 次世代型バイオ燃料
- S11 浮体式洋上風力発電
- S12 バイオマス生物機能解析
- S12 地域環境適合太陽光発電
- S14 超高効率太陽光発電
- S15 未利用温泉エネルギー
- S16 高温地熱エネルギー利用
- S17 太陽熱利用の革新技術
- S18 低コスト・高効率燃料電池
- S19 次世代二次電池
- S20 高効率ガソリンエンジン

- S21 中低温熱利用基盤技術
- S22 エネルギーキャリア
- S23 再生可能電力化学品生産
- S24 次世代エナジーネットワーク
- S25 電力国際ネットワーク

【環境分野(12件)】

- L1 作物増産技術
- L2 持続農業
- L3 化成品原料
- L4 資源回収・リサイクル
- L5 微生物生態・環境ゲノミクス
- L6 動物生態
- L7 植物生理・生態
- L8 生物多様性
- N1 元素戦略・希少元素代替技術
- N2 分離機能材料による水処理
- N3 放射能物質の汚染・減溶化
- N4 リスク評価・管理と社会受容性

L1～L8 : ライフサイエンス・臨床医学分野

N1～N4 : ナノテクノロジー・材料分野

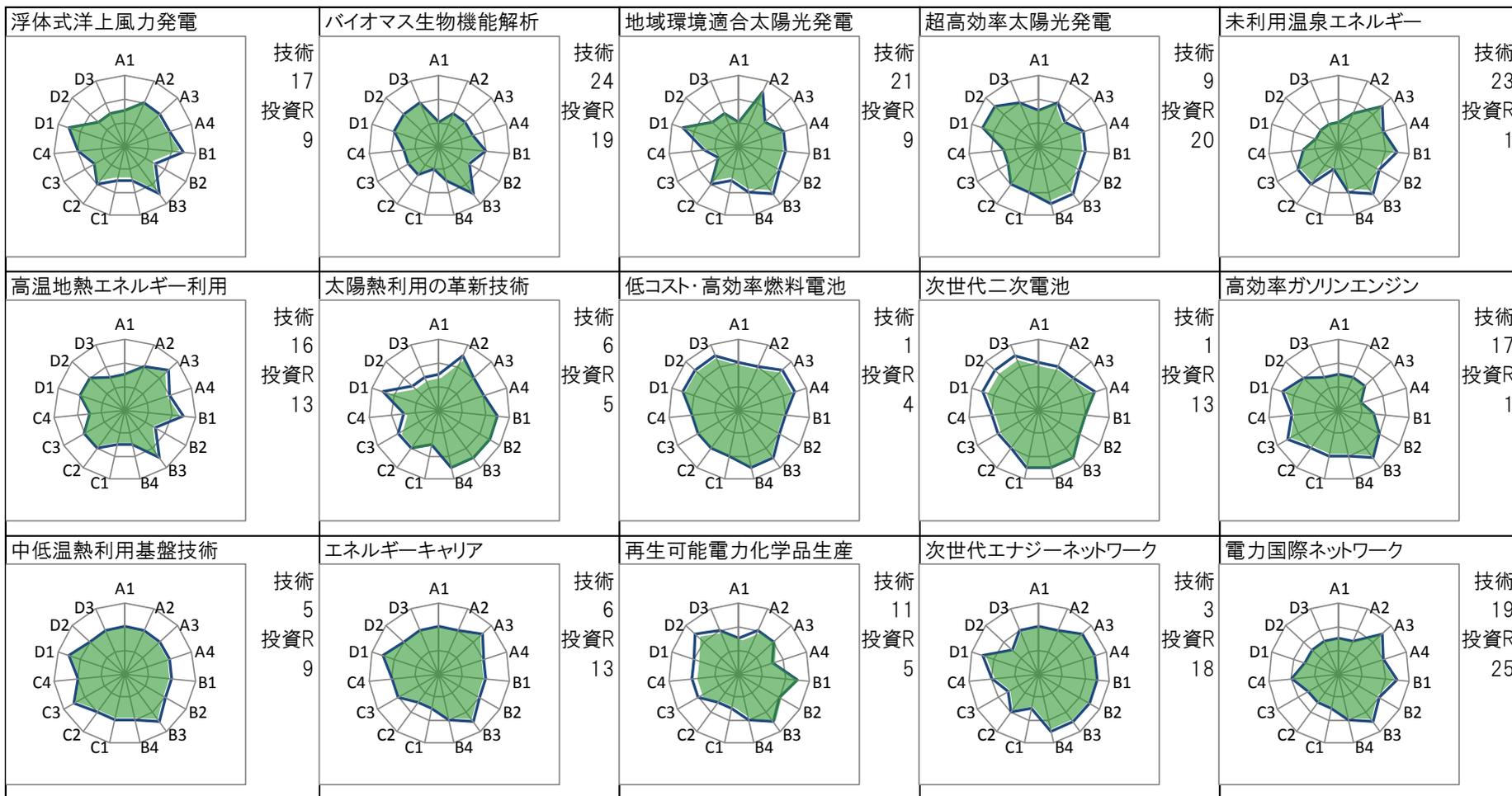
エネルギー分野の評価指標

(5段階評価: 5(好ましい)～1(好ましくない))

カテゴリー	指標
A. 安定供給性	A-1 量的インパクト
	A-2 資源入手の容易さ
	A-3 供給変動性
	A-4 緊急時・事故時適用性・対応性
B. 環境性・持続性	B-1 温室効果ガス排出量
	B-2 環境負荷
	B-3 食料生産、生態系保全等への影響

カテゴリー	指標
C. 経済性	C-1 経済効果
	C-2 エネルギー収支
	C-3 競争力・海外展開可能性
	C-4 他産業への波及効果
D. 科学技術政策との親和性	D-1 政策との整合性
	D-2 学術的価値・波及効果
	D-3 研究開発基盤・人材育成への貢献

指標別評価結果 再生可能エネルギー及びエネルギーシステム分野

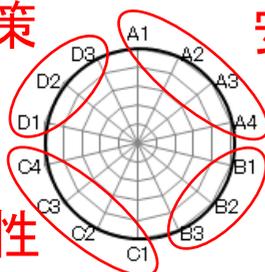


科学技術政策
との親和性

安定供給性

環境性・持続性

経済性

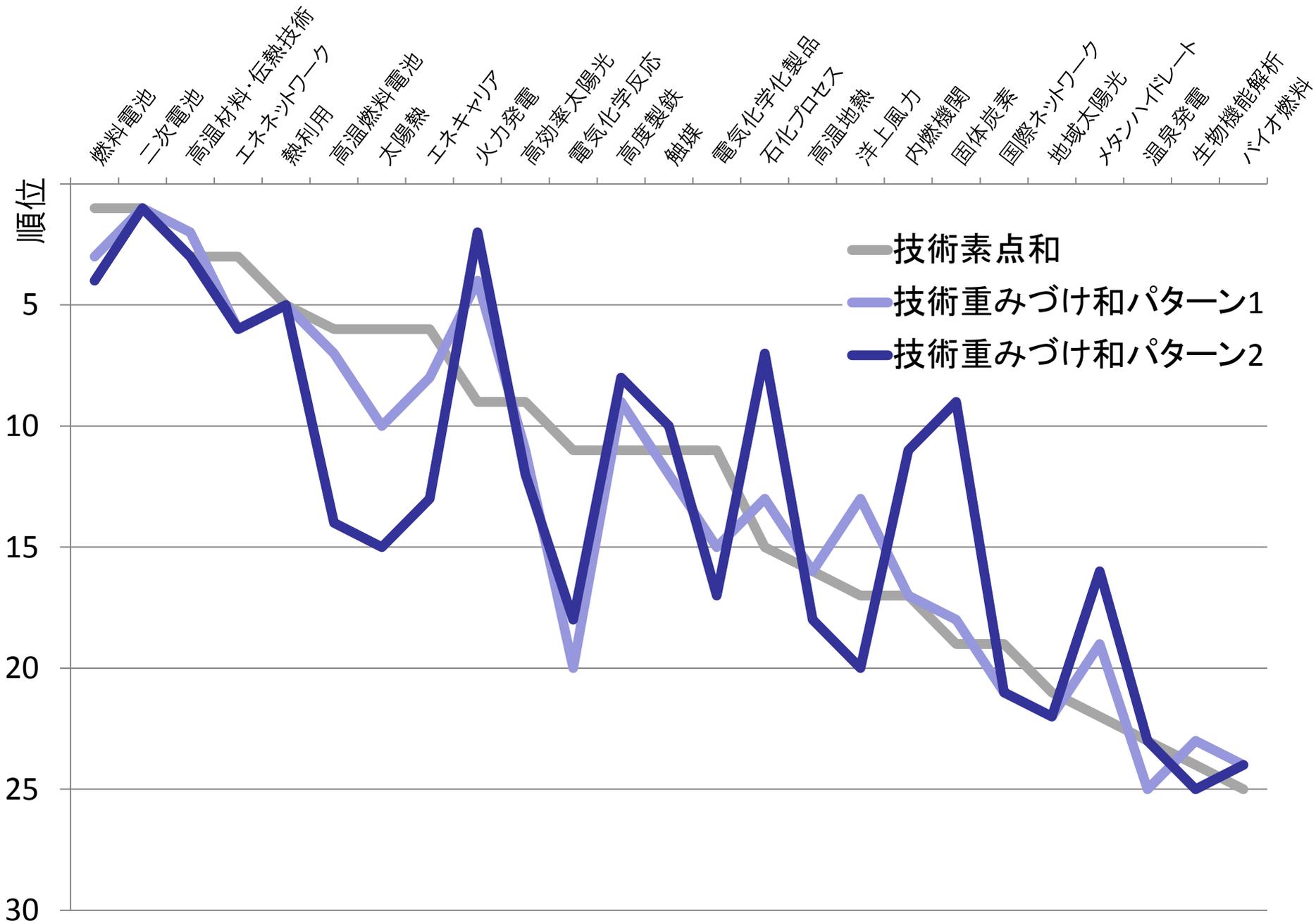


- 次世代二次電池、次世代エネルギーネットワークは全般的に高位の評価
- バイオマス生物機能評価、地域適合太陽光発電は安定供給性や経済性で低位の評価

評価指標の重み例(エネルギー分野)

	重み1	重み2		重み1	重み2
A-1 量的インパクト	20	20	C-1 経済効果	10	20
A-2 資源入手の容易さ	2	2	C-2 エネルギー収支	10	10
A-3 供給変動性	2	2	C-3 競争力・海外展開可能性	5	5
A-4 緊急時・事故時適用性・対応性	2	2	C-4 他産業への波及効果	5	5
B-1 温室効果ガス排出量	15	2	D-1 政策との整合性	15	2
B-2 環境負荷	2	10	D-2 学術的価値・波及効果	5	2
B-3 食料生産、生態系保全等への影響	2	2	D-3 人材育成・研究開発基盤への貢献	5	2

重みづけ前後での技術点総和の順位の変化(エネルギー分野)



- 科学者の役割
- 研究者としての科学者
- 助言者としての科学者
- エネルギー分野の課題
- 結び

“社会のための科学”に向けて

- 科学者の責務は、第一に**社会的期待に応える科学研究**を健全に進めること、第二に社会の合意形成や政策立案・決定における**科学的助言**(Scientific Advice)を形成すること
- 社会的期待に応える**研究開発課題探索**(Research on Social Wishes)
- **公正かつ透明な制度**
 - 研究不正と研究倫理に対する主体的取り組み
 - 科学的助言形成の方法、行動規範・指針の整備、産学官の共通理解
- エネルギー政策などの政策立案において、**科学的評価と政策的な判断**を明確に分離
- 科学と政治、メディア、社会との良い関係は、相互理解の下に経験と鍛錬を重ねて初めて実現