

グリーン・サステイナブル ケミストリーの10年と将来展望

東京大学名誉教授 御園生 誠

はじめに

環境に配慮した化学技術の先進国であるわが国が、グリーンケミストリー、サステイナブルケミストリーとの国際協調の下、グリーン・サステイナブルケミストリー・ネットワークを産学官連携で設立してちょうど10年が経過した。

この間、政府、団体、個人の努力と協力によりGSCの活動は着実に進展してきた。GSCNの活動も国内外に広がり定着している。また、経済産業省の発表するロードマップにGSCが採用され毎年更新されているし、GSCの国のプロジェクトも経済産業省・NEDOにより推進され着実に拡大して成果をあげつつある。他方、環境共生、持続可能社会、低炭素社会等の概念が普及し、GSCの考え方が化学技術、化学産業にとって当たり前のことになって、先導的指導原理としてのGSCの存在感が希薄になった面があることも否めない。

そこで、GSCN設立10年を期して、GSCの今後を展望し課題を考えてみたい。

1. 地球規模の問題の正しい認識の必要性

化石資源の減耗に備えて再生可能エネルギーや原子力の普及が必要だが、問題の時間軸と量定的関係についての正しい認識（表1）、さらにコストパフォーマンスを考えた科学的合理性のある対策が不可欠である。直ちに脱化石が起こるわけではなく、化石エネルギーは21世紀後半でも最大のエネルギー源であることを受け入れる必要がある。正しい方向への時間をかけた着実な施策が必要（御園生『新エネ幻想』）。また、気温変動のデータに対する由々しい疑念に注視すべきである（クライメートゲート事件）。

2. GSCの理念・定義（GSCN設立時）

2000年のGSCN設立時に、基本理念、定義、活動推進の視点、行動指針が決められた。その定義によると、GSCは、“製品設計、原料選択、製造方法、使用方法、リサイクルなど製品の全ライフサイクルを見通した技術革新により、「人と環境の健康・安全」、「省資源・省エネルギー」などを実現する化学技術”である。

3. グリーン化学合成

原子効率からE-ファクターへ、そして、量的環境負荷から質的環境負荷へ。

4. グリーン原料

石油系と非石油系化学原料（石炭、天然ガス、バイオマス）の位置づけ。

5. グリーン製品

製品の重要性が増す：低炭素化社会、安全社会への貢献、快適性、豊かさの再定義（環境クズネット曲線の横軸の再定義）。

6. 新時代へ向けたニューGSCの幕開け（表2, 3）

- 1) E-ファクターを超えて
- 2) “Less negative” から “More positive、More comfortable” へ
- 3) 生活快適化のための製品、システムへ

表1 地球規模の問題を正しく理解するための12カ条
 (御園生『温暖化と資源問題の現実的解法』(丸善))

1. 持続と循環の関係 自然と人工で駆動力が全然違う。目標は持続
2. 全てはグレーで程度問題 定量的比較が大事
3. エネルギー収支と物質収支 化石資源消費量 \approx CO₂排出量
4. 部分と全体 (1) 全体に占める割合と (2) 全ライフサイクル
5. 時間軸と空間軸 リスクと技術のロードマップ (シナリオ)
6. データのバラツキ (時間的、空間的)
7. 経済性も大事 コスト \approx 環境負荷 (例外; ブランド品、原油など)
8. 新聞・テレビの見方 鵜呑みにしない
9. トレードオフとケースバイケース
10. 化学物質 安全と安心
11. 効率向上か総量削減か 目的は総量削減 (家電効率と家庭電力消費)
12. 誤解しやすい環境問題 身びいきなLCA評価に注意

表2 GSCのトレンド

これまでのGSC

- 出してから処理ではなく出さない
- 予防>>治療
- プロセス重視 (how to make)、E-ファクター重視
- Less negative

これからのGSC

- What to make へ (モノ、製品; 環境負荷小、快適化)
- More positive & more comfortable へ
- 低炭素社会、持続可能社会への積極的貢献

表3 新しい時代の幕開けとニューGSC

時代は大きく変わろうとしている。その方向を長期的・俯瞰的視野で読んで、正しい方向に向け、適切な科学技術の研究・開発に着実に取り組む。

二つの視点

1. 現在の社会経済システム・生活スタイルを前提に要素技術・個別製品を開発
2. 社会経済システム・生活スタイルの革新を目指し技術・製品・システムを開発

NEDO/GSCセミナー
2010.3.5

GSCの10年と将来展望

御園生 誠
東京大学名誉教授
JST／日本化学連合

グリーンサステイナブルケミストリー (GSC)

“GSC(GC)=環境共生化学” の定義

GSCN, 2000:

設計、原料、製造法、使用法、リサイクルなど製品の全ライフサイクルを見通した技術革新により、「人と環境の健康・安全」、「省資源・省エネルギー」などを実現する化学技術

GSCロードマップ:

エネルギー、資源の制約を克服して、環境との共生を図ると同時に安全、安心で競争力のある持続可能な社会を構築するための化学技術の体系。化学産業の発展に大きな役割

エネルギーと材料(化学品)に分けて考えてみる

GSC の10年(1)

GSC, *GSCN*が日本で生まれて10年

関係者の努力により着実に進展し定着

GSCN: *GSC*国内・国際シンポ

*GSC*賞／3大臣賞

METI/NEDO: *GSC*ロードマップ

*GSC*プロセスプロジェクト

- ①有害化学物質を削減する、
- ②廃棄物、副生成物を削減、
- ③資源生産性を向上する、革新的プロセス、化学品、
- ④化学
品原料の転換・多様化する革新グリーン技術

GSCの10年(2)

- 着実な進展の一方、新時代の先導的指導原理としての存在感がやや薄くなったのではないか
- 理由 ①当たり前になってきた？

②気軽に使われ形骸化？

エコ商品と同じ？

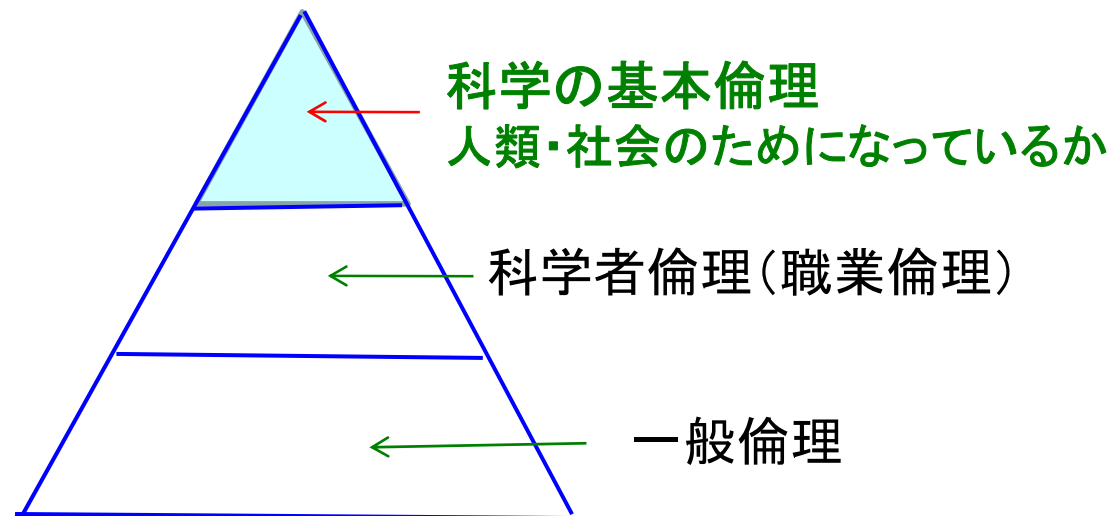
“グリーン”はキャッチコピーに一番使われた(米)

“エコエコとオレオレ詐欺の一種かな”《新聞川柳》

低炭素社会、持続可能社会が叫ばれる新時代に
ふさわしい新しいGSCが必要

新しいGSC

まず、低炭素、持続可能社会の実現へ向けた、
技術貢献のあるべき姿（決して地球温暖化とエネルギーだけが課題ではないが、例題として考える）



持続可能社会を考えるための12か条

1. 持続と循環の関係 自然と人工で全然違う。目標は持続
2. 全てはグレーで程度問題 **定量的比較が大事**
3. エネルギー収支と物質収支 化石資源消費量 \div CO₂排出量
4. **部分と全体** 占める割合と全ライフサイクルを考える
5. 時間軸と空間軸 リスクと技術のロードマップ
6. データのバラツキ(時間的、空間的)
7. **経済性も大事** コスト \div 環境負荷(例外の例;ブランド品と原油)
8. 新聞・テレビの見方 鵜呑みにしない
9. トレードオフとケースバイケース
10. 化学物質 安全と安心
11. 効率向上か総量削減か 目的は総量削減
12. 誤解しやすい環境問題 身びいきなLCA評価、量と質

御園生誠 『温暖化と資源問題の現実的解法』丸善、2008

気候変動：正しい認識が第一歩

1. 地球平均気温の変動は実感できるか？ $0.01^{\circ}\text{C}/\text{年}$
2. 氷河は流れる
3. 沈む南洋の島
4. クライメートゲート事件

20世紀の気温変化の真実

2009年11月英国気候研の内部資料が漏洩。ねつ造疑惑。現在、解明作業が進行中

21世紀の気温変化とその被害の予測

2050年世界のCO₂排出半減論に科学的根拠はあるか。

ヒマラヤ氷河事件



写真提供:2002年元旦アルゼンチンにて 栗林浩撮影

→ IPCC報告の信頼性が揺らぐ

部分と全体

“新エネルギー”の現状

1. 全体に占める割合

世界のエネルギー消費 110億石油換算トン

化石エネルギー 81%、原子力 6%、水力 2%、CRW 10%

風力>地熱>>太陽光 は、合計で 約1%弱

日本の新エネルギー(新エネ法)は、全エネルギーの2%

ただし、新エネルギーの9割は、熱利用(廃棄物、太陽熱)。

太陽光発電は、全エネルギーの約0.1%(世界では0.02%)

2. 全体で評価(LCA)

内と外:カーボン流出; 国内から国外へ、家庭から外へ

GSCで重要(特にLCAの境界設定)

エネルギー：低炭素社会への道すじ

エネルギーと気候変動

両者は密接に関連しているが別の問題
化石エネルギー消費量 \div CO₂排出量

温暖化への影響を見ながらのエネルギー選択

気温上昇もその被害も、おそらく巷で言うほど大きくはない。
正しい方向に向けた穏やかだが着実な対策がよい

エネルギー；利用の現状と資源の見通しは？

21世紀のエネルギー選択

- **化石資源**は枯渇しない。経済性高く、使いやすい。鍵は、気候変動と折り合いをつけながら、いかに上手に使うか。日本は脱“化石”より“化石”確保に要注意
- **原子力**は、ほぼ完成した技術、経済性高い、資源量もある(必要になればプルサーマル、増殖炉)。安全性の確保、社会受容性が鍵
- **再生可能エネルギー**: **在来型**(水力、薪など)は現在13%をしめる。**非在来型**(風力、地熱、太陽光、新バイオ燃料)は1%。21世紀後半に普及を期待
- **時間軸(いつ)と量的関係の正しい認識が重要**

世界の一次エネルギー大胆予想

(石油換算トン; 御園生、『新エネ幻想』2010)

	2007	2050	2100
化石	88 (80%)	72 (50%)	(40%)
原子力	7 (6%)	36 (25%)	(30%)
再生可能	13(14%)	35 (24%)	(30%)
新	1 (1%)	15 (10%)	
{ 旧バイオ	12 (11%)	16 (11%)	
{ 水力	2 (2%)	4 (3%)	
合計	110	143 (1.3倍)	

$72/88 = 82\%$ (-18% ≒ CO₂削減) これで十分か？

適切な温暖化対策は？

CO₂削減対策は、

- 過大でも過小でも被害甚大の恐れ

とりあえず、21世紀末2-3°C上昇に抑える
ことを目標とする。(2050年、2,3割削減でよい)

- コストパフォーマンスを考え優先順位

同じ効果ならコストの小さい方がよい
CO₂ 1トン削減に要する費用を考えてみる

CO₂削減コストのまとめ

CO₂1トンあたりの削減コスト

太陽光発電(日本)	約15万円
風力、地熱、水力、在来型バイオマス	?
バイオエタノール(ブラジルから輸入)	3-4万円
ハイブリッド車(先代プリウス)	約4万円
電池自動車(iMiev) (削減効果小)	<u>40万円以上</u>
住宅窓(樹脂サッシ)	1-3万円
原子力発電	1000円?

参考 排出権市場 1500円

では、どうするか

国内 太陽電池等新再生可能エネルギーは、当面技術向上しつつ、ゆっくり取捨選択しつつ普及。蓄電池は革新的技術の追求。省エネ技術の開発と普及。化学技術への期待大。

10年後ではなく、20-30年後を考え、着実な対策を実施。方向が正しければ焦る必要はない。

ただし、生活スタイルと社会経済システムの変革も

グローバルには？ 日本のCO₂排出量は世界の4%強、新興国・途上国(排出量急増)との共同作業

GSCの材料(化学品)

グリーンプロセス (実績多い)

化学合成プロセス: 廃棄物・溶媒の極小化、高効率固体触媒化

材料プロセッシング: 省エネ、効率化、有害試薬回避

分離プロセス: 省エネ、効率化

基礎・応用研究の方向性は見直す余地

グリーン原料; 化石、バイオ、リサイクル

グリーン製品; 高機能化、環境負荷低減、快適化
less negative から more comfortableへ

イノベーションと新物質・材料・プロセス

大イノベーションには新物質・新材料がつきもの

- 真空管から半導体、LSIへ、ブラウン管から液晶、ELへ
- 銀塩写真からデジタルカメラへ
- 記録、複写技術の変遷

大イノベーションには新プロセスがつきもの

- リソグラフィー(微細加工)、成膜技術
- 化学合成プロセス(多数); ポリオレフィン 第1、2、3世代
- 分離技術; 蒸留から化学的分離 例; 海水淡水化(膜)

21世紀のイノベーションは、環境共生、持続可能性への配慮が重要

Anastasの12カ条などの功績と弊害

Anastas の12カ条

GCの予防原則を普及。局所・部分的評価を容認

Trost の原子効率、原子経済 反応式のみ

目標設定の一助。観念的で誤解を惹起

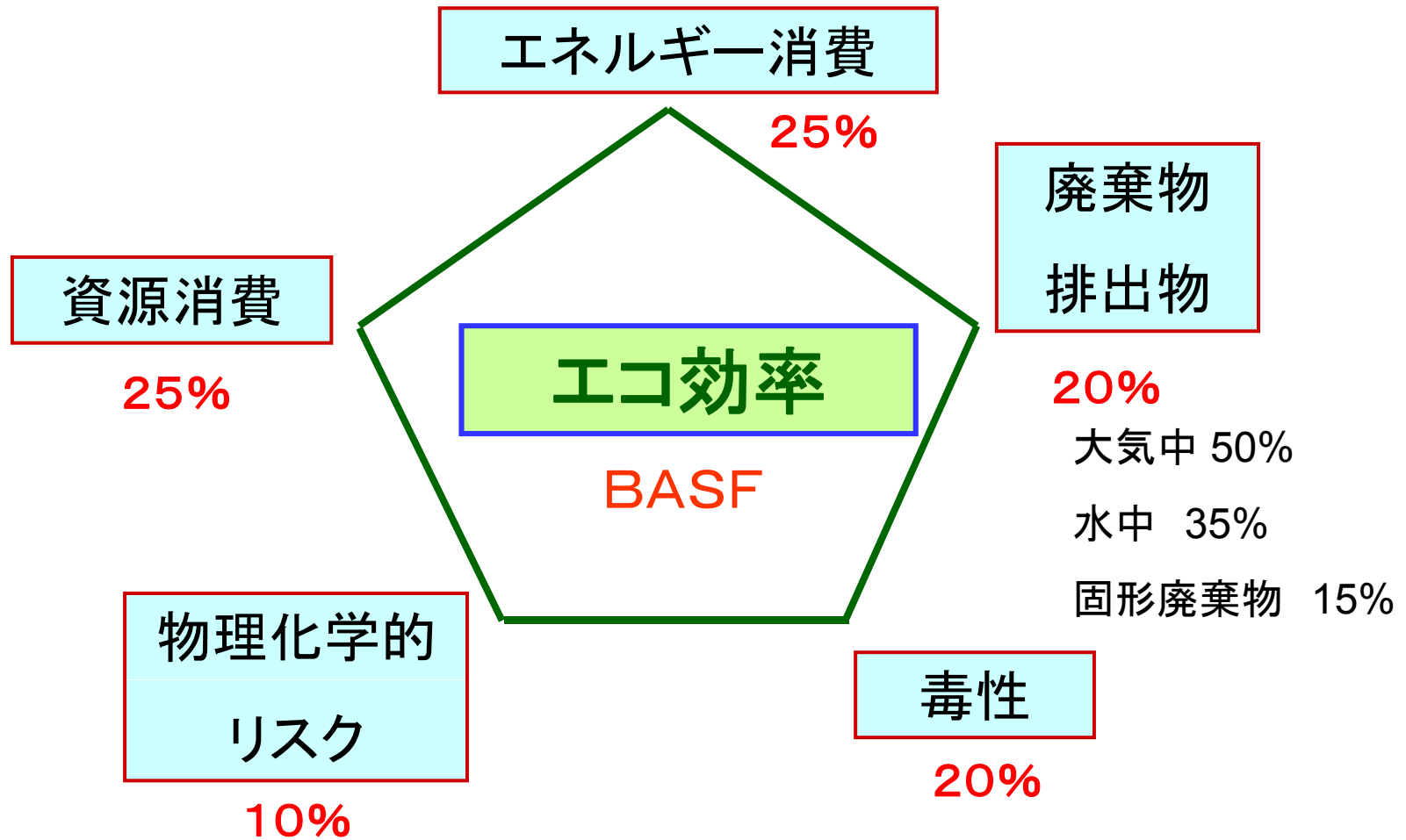
Sheldon のE Factor 副生物／目的物比

現実的(実プロセス); 広く普及

矮小化されがち; 廃棄物さえ減らせば良い

GC/GSCには、全体評価(LCA)が不可欠。
上記のコンセプトを乗り越える必要あり

GSC 度(LCA)の総合的評価が肝心



エコ効率 + 経済性で評価

材料としてのバイオマス利用

エネルギー利用とは異なる評価軸

- 天然原料が既に大量に使われているものあり。 木材、繊維、ゴム、紙
- 原料の化学的特徴を生かした高機能製品は十分に可能性あり(実績あり)
医薬、化粧品など。ただし、合成品と競合
- バイオプラスチック
バイオ原料ならではの高機能が必要

GSCを再定義

ニューGSCへ

廃棄物量の削減、化学リスクの低減は、いまでも重要だが、次第に当たり前になって、これだけでは新時代の先導的な指導原理としての存在感が不足

グローバルな課題（低炭素社会への着実な移行＝省エネ、省資源、安全）、国力の維持を考えると、新しいGSCへの脱皮が必要ではないか。

GSCのトレンド

- これまでのGSC

- 出してから処理ではなく出さない
- 予防 >> 治療
- プロセス重視(how to make)、E Factor(廃棄物量) 重視
- Less negative

- これからのGSC; ニューGSC

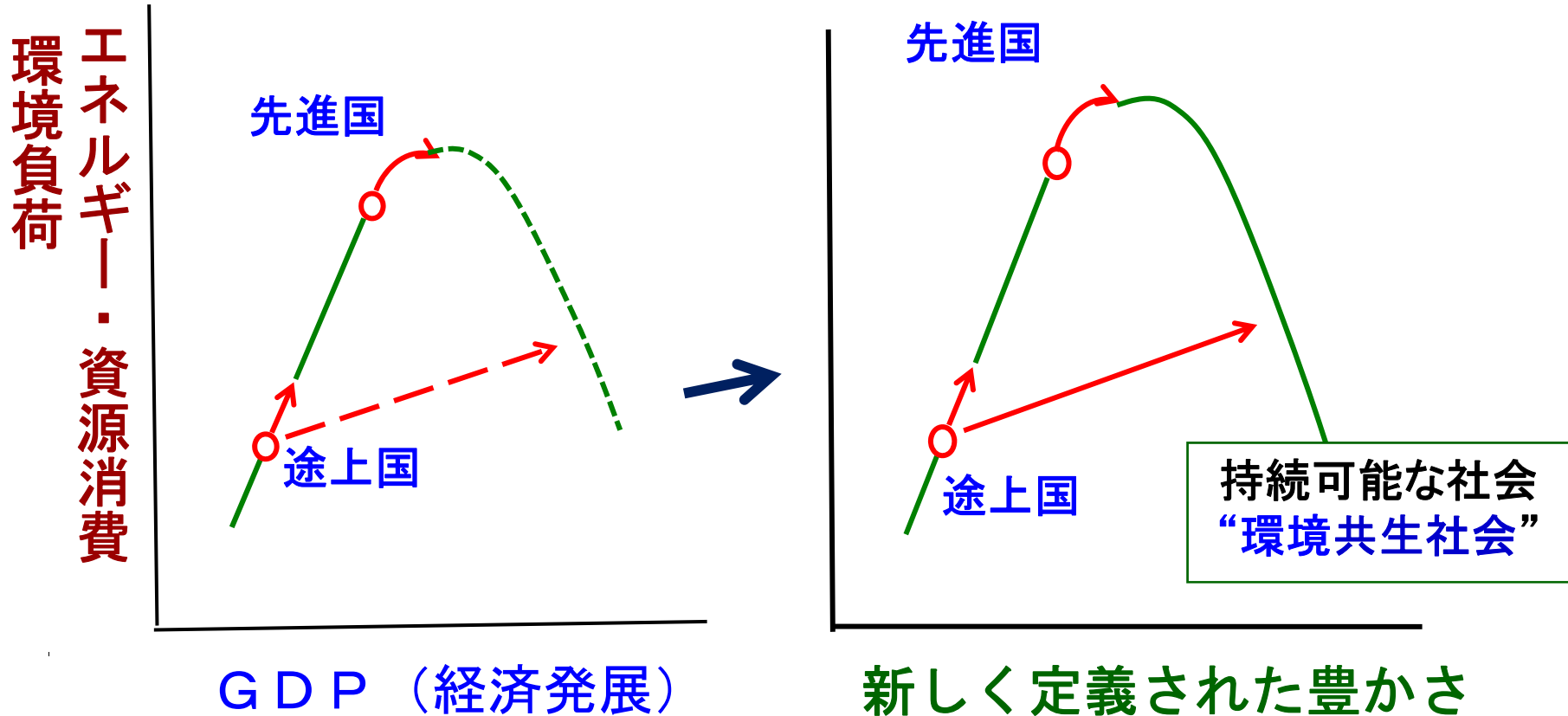
- 革新的プロセス(合成、分離)だけでなく、
- What to make へ (製品・サービス; 環境負荷小で快適)
- More positive & comfortableへ
- 低炭素社会、持続可能社会へ製品を通して積極的貢献
- カーボンLCA(2009): CO₂削減; 化学製品 >> 製造過程

新時代の化学技術 GSC

低炭素(=省エネルギー・省資源・再生可能エネルギー)・環境共生社会への移行は必然。そのための健全な技術を継続的に開発することが重要。

1. 現在の社会経済システム・生活スタイルを前提に**グリーン要素技術・製品**を開発
2. 社会経済システム・生活スタイルの変革を加速する**グリーンシステム技術**を開発
3. **日本のものづくり**は、徐々に海外移転。国内で良質な生活を確保するためにも、海外から応分の富を還元するためにも、新時代にふさわしい高付加価値製品および革新的化学プロセスの**積極的で不断の技術開発**は必須

新しい環境クズネッツ曲線



新しく定義された豊かさ
生活スタイル、社会システムの転換
要素技術、部品の交換だけではない

まとめ

- 世界は多くの難題を抱えて迷走している。
 - 社会の中にあって社会のためになる化学技術
 - 科学者・技術者の責務は、
 - 第一**に、新時代にふさわしい技術を創出し、豊かな持続可能社会の実現に貢献
 - 第二**に、社会に対して合理的・科学的な判断、あるいは判断基準、知識を提示し、社会の正しい判断を促す。
- 新しい **GSC**へ