

地球環境産業技術研究機構（RITE） カーボンニュートラルに向けたトランジションロードマップ^o

RITE/カーボンニュートラルに向けたトランジションロードマップの概要

- RITEは、2021～2022年度に日本政府が策定したトランジションロードマップについて、全体としての2℃、1.5℃排出削減経路との整合性において、説明性を向上させる必要性を指摘。
- そこでRITEの自主研究として、世界各国・地域、部門間で整合性ある分析が可能な世界エネルギー・温暖化対策評価モデルDNE21+によって、部門別のトランジションロードマップを策定。2024年1月に公表した。

2024年1月24日

カーボンニュートラルに向けたトランジションロードマップの策定(2023年度版)

(公財)地球環境産業技術研究機構(RITE)

システム研究グループ

sysinfo@rite.or.jp



出所) RITE/カーボンニュートラルに向けたトランジションロードマップの策定(2023年度版)
https://www.rite.or.jp/system/global-warming-ouyou/download-data/FY2023sectorroadmap_rev.pdf

RITEとしてのトランジションロードマップ策定の課題意識

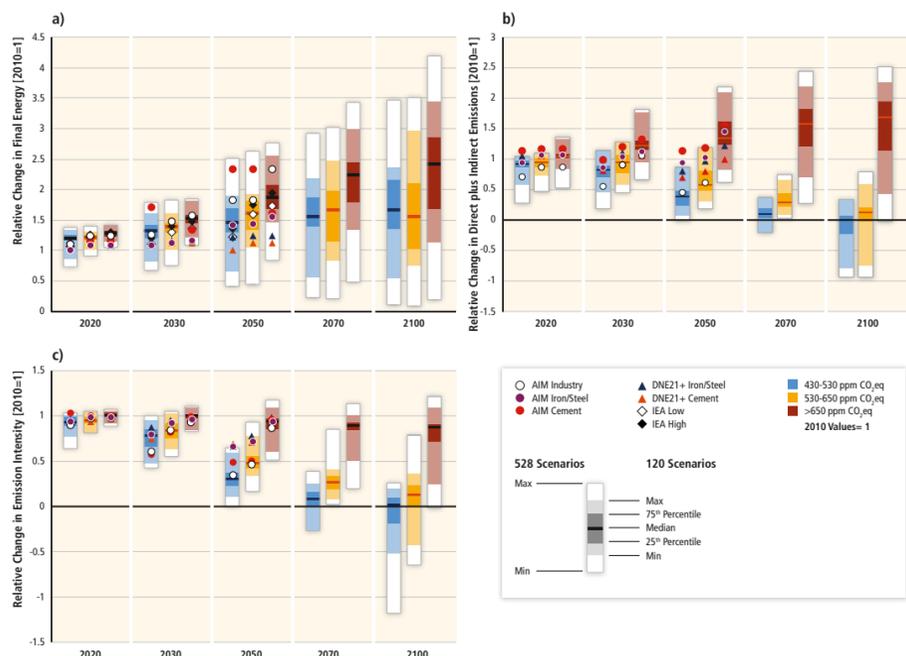
- パリ協定長期目標の2℃や1.5℃目標や21世紀後半早期のカーボンニュートラル実現に向けて各部門の対策を強化していく必要あり。
- 一方、そこに至るトランジションには、世界全体で見ても幅は大きく、ましてや世界全体でのCNと整合的であっても、産業部門毎の排出削減経路は、部門によって、既存インフラの寿命や、排出削減対策の難易度等は異なっており、差異がある。一律の削減は、対策費用の増大を招き、却って排出削減を困難にしかねない。
- しかし一般には、必ずしも技術を含めた、全体整合的な排出削減への経路を十分理解できているわけではなく、投資の適切性に関して判断できる定量的な材料が必要な状況にある。そのため、NGFSなどでも、定量的な分析が可能な統合評価モデルを用いた排出削減シナリオの策定が行われている。一方、これらは、部門毎の排出削減経路に対しては十分な情報を与えていない。
- 日本政府は、トランジション・ファイナンスでの活用も念頭に、カーボンニュートラル実現に向けた具体的な移行の方向性を示すため、2021～2022年度にトランジションロードマップを策定した。これは有用な情報を提供するものであるが、一方、これらは、部門毎に策定されたものであり、全体としての2℃、1.5℃排出削減経路との整合性において、説明性を向上させる必要性がある。
- そこで、部門別の積み上げ評価をしており、また、世界各国・地域、部門間で整合性ある分析が可能な世界エネルギー・温暖化対策評価モデルDNE21+によって、部門別のトランジションロードマップを策定した。

モデルについて | ①DNE21+とは

- RITEが今回活用したDNE21+はRITEが開発したモデルで、各種エネルギー・CO2削減技術のシステム的な（経済全体としての）コスト評価が可能なモデル
- IPCCでも参照されるように国際的に認知されたモデルであり、国内でもエネルギー基本計画策定の際に用いられる等の実績がある。

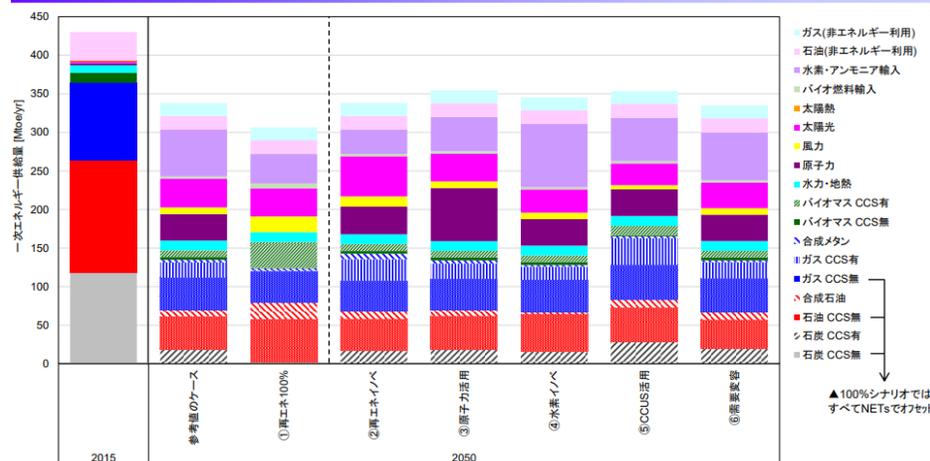
RITE DNE21+の活用例

IPCC AR5 Chapter10 Figure10.11



総合資源エネルギー調査会資料

日本の一次エネルギー供給量（2050年）



注1) 一次エネルギー換算はIEA統計に準じている。バイオマス以外の再エネ: 1 TWh=0.086 Mtoe、原子力: 1TWh=0.086÷0.33 Mtoe
 注2) CCSなしの化石燃料は、負排出技術でオフセットされており、カーボンニュートラル化石燃料となっている。

▲100%のいずれのシナリオにおいても、相当量の水素・アンモニア・合成燃料の輸入が見られる。

モデルについて | ②DNE21+における経路の導出

- 同モデルでは約500の技術を組み込んでおり、様々な制約条件を踏まえ、世界各国・地域、部門間で整合性がある形で、気候関連目標を経済全体として最もコスト効率的に達成する道筋を示すことができる。
- 今回の分析では、技術情報に分野別ロードマップにおける技術も考慮しつつ、次頁に示す5つのシナリオの下で、最適化を行っている。

項目	概要
モデルの種類・概要	<ul style="list-style-type: none"> ● 各種エネルギー・CO2削減技術のシステム的なコスト評価が可能なモデル ● 線形計画モデル（エネルギーシステム総コスト最小化。決定変数約1千万個、制約条件：約1千万本）
ロードマップとの関係性	<ul style="list-style-type: none"> ● ロードマップに記載の技術を考慮
対象期間・地域	<ul style="list-style-type: none"> ● 地域：世界地域分割：54地域分割（米国、中国等は1国内を更に分割、計77地域分割） ● 期間：2000年～2100年（代表時点：2005,10,15,20,25,30,40,50,70,2100）

条件などが異なる5つのシナリオで経路を示している

シナリオの考慮

技術や制約条件を踏まえ最適化

最適化の結果

シナリオ

- 気候目標
- 政策
- 技術コスト、CCS貯留量などの変化

など

※詳細は次頁

前提等

技術情報

- 削減量
- 導入年
- コスト など

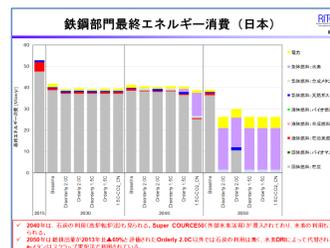
最適化

制約条件

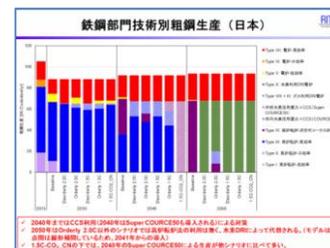
- 必要な削減量
- 需要と供給
- CCS貯留量 など

気候変動の目標を満たす、コスト最適な経路

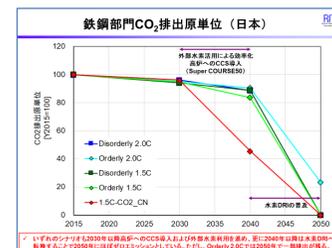
エネルギーの経路



技術の経路



排出量等の経路



部門別・地域別に、5つのシナリオの最適化結果（各種経路）が示されている

出所）RITE/カーボンニュートラルに向けたトランジションロードマップの策定（2023年度版）

https://www.rite.or.jp/system/global-warming-ouyou/download-data/FY2023sectorroadmap_rev.pdf

モデルについて | ③シナリオ

- 今回の分析では、5つのシナリオを設定し、幅広い想定の下で経路を導出している。
- シナリオの主な要素は、以下の通りであり、いずれもパリ協定や既存の国際機関等の排出パスとも整合しつつ、将来の技術進展の幅についてもある程度カバーしうるシナリオとなっている。

シナリオ想定（概略）



シナリオ名	気温上昇	政策のスピード*	CDR	再エネ、EV	政策の地域差	他シナリオとの類似性		
						IPCC AR6	NGFS(2022)	IEA
Disorderly Below 2 °C	1.7~1.8°C (ピーク: 1.8°C、2100年 1.7°C)	遅 (2030年 NDC)	中	中位進展	大(主要先進国 2050年 CN)	Likely below 2 C, NDC [C3b]	Disorderly: Delayed Transition	APS (WEO 2022)
Orderly Below 2 °C	1.7°C程度	早(2030年 NDC: 全世界MAC均等化)	小	高位進展	小 (MAC均等化)	Likely below 2 C with immediate action [C3a]	Orderly: Below 2C	SDS (WEO 2021)
Disorderly 1.5 °C	1.4°C (ピーク: 1.7°C、2100年 1.4°C)	遅 (2030年 NDC)	大	中位進展	大(主要先進国 2050年 CN)	1.5 C with high overshoot (IMP-Neg) [C2]	(Disorderly : Divergent Net Zero)*	
Orderly 1.5 °C	1.4°C (ピーク: 1.6°C、2100年 1.4°C)	早(2030年 NDC: 全世界MAC均等化)	中	高位進展	中(主要先進国 2050年 CN)	1.5 C with no or limited overshoot [C1]	Orderly: Net Zero2050	
1.5C-CO2_CN	1.5°C程度 (CO2パスからの概略値)	早(2030年 NDC: 全世界MAC均等化)	小 (部門別 Near-zero of CO2)	高位進展	中(主要先進国 2050年 CN)	1.5 C with no or limited overshoot [C1]		NZE

* 2021年12月までに提出されたNDCの2030年排出削減目標を反映

* 排出経路についてはOrderly 1.5 °Cに近い

- ✓ パリ協定2°Cおよび1.5°Cと整合的で、かつ、既存の国際機関等の排出パスとも整合的なシナリオを想定
- ✓ その中で、将来の技術進展の幅についてもある程度カバーし得るシナリオを想定

【シナリオの主な要素】

① 気温上昇

世界全体の平均気温をどの程度抑制するか設定。シナリオにより1.4°C~1.8°Cの範囲で設定される。

② 政策のスピード

NDC達成を前提としつつ、関連する政策がどの程度の早さで実行されるかを設定。例えば「早」となっている場合は2030年のNDCが達成され、各国政府が関連政策を早期導入・協調するため限界削減費用（1単位あたりの排出削減コスト）が各国で均等化されていることを表す。

③ CDR（Carbon Dioxide Removal）

炭素除去技術のポテンシャルをどの程度認めるかを設定。

④ 再エネ、EV

再エネやEVコストやポテンシャルの推移に関する設定。

⑤ 政策の地域差

気候変動関連政策の厳格さや導入時期にどの程度地域毎の違いがあることを前提とするかを設定。例えば「小」となっている場合、多くの地域で野心的な政策がほぼ同時期に実施されることを表す。

【他シナリオとの関係性】

IPCC、NGFS、IEA等の機関が策定した国際的に認知されたシナリオの内、類似するものを記載

出所) RITE/カーボンニュートラルに向けたトランジションロードマップの策定（2023年度版）
https://www.rite.or.jp/system/global-warming-ouyou/download-data/FY2023sectorroadmap_rev.pdf

結果の見方 | ①資料の構成

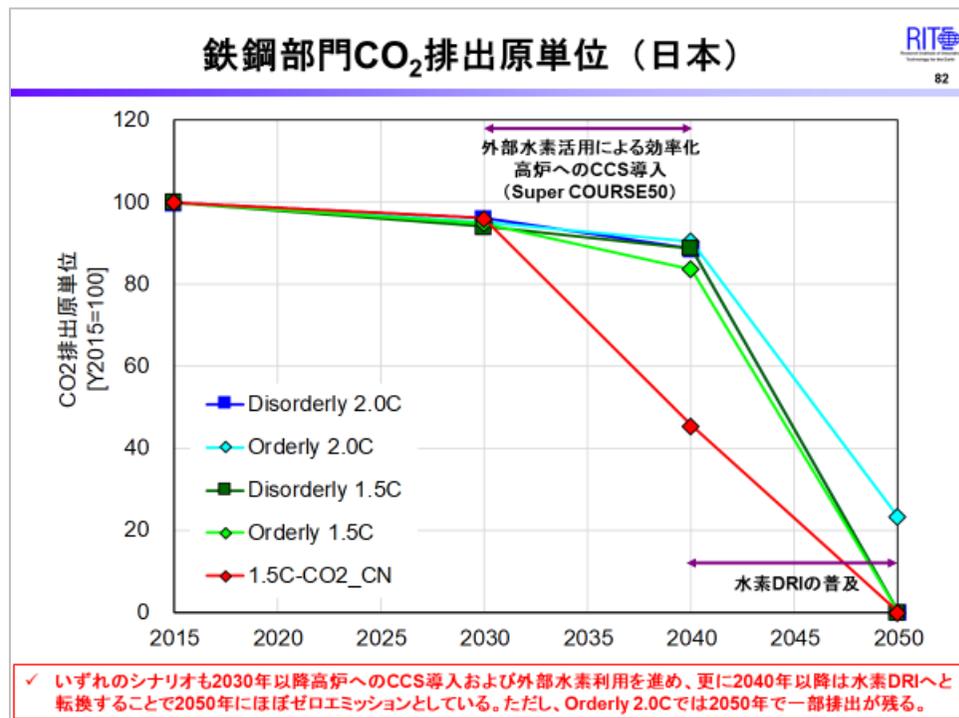
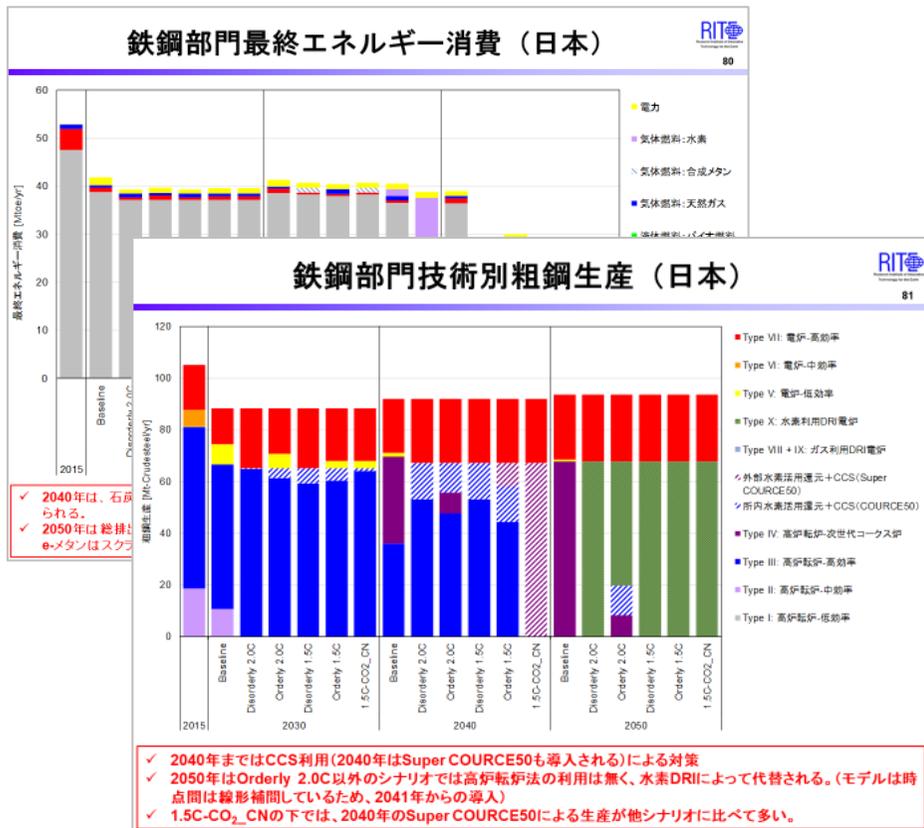
- 分析資料の構成は以下の通り。

#	項目	ページ	概要
-	課題認識	• 1～3	• 本分析あたっての課題認識
1	国際的な参照シナリオ	• 4～40	• 本分析参照・比較をしている国際的なシナリオの概要
2	RITE DNE21+モデルによる トランジション・ロードマップの策定	• 41～48	• モデルや前提・シナリオ等の概要
		• 49～61	• 世界全体の結果
		• 50～51	• 限界削減費用（国別・シナリオ別）
		• 52	• 世界全体のGHG排出量（部門別・シナリオ別）
		• 53	• 世界全体の一次エネルギー供給量（エネルギー源別・シナリオ別）
		• 54～61	• 世界全体のエネルギー消費量（部門別・エネルギー源別・シナリオ別）
		• 62～102	• 日本単体の結果
		• 63	• CO2削減費用（シナリオ別）
		• 64	• GHG排出量（部門別・シナリオ別）
		• 65	• CO2バランス（回収および貯留・利用部門別、シナリオ別）
		• 66	• 一次エネルギー供給量（エネルギー源別・シナリオ別）
• 67～102	• 各部門結果（技術推移、利用エネルギー推移、排出量/原単位推移 など）		
3	RITE DNE21+モデルによる分析シナリオと他シナリオの比較	• 103～107	• IPCC、NGFSシナリオとの比較 （CO2排出量、CDR利用量、CO2限界削減費用、炭素価格）
4	まとめと今後の課題	• 108～109	• -
-	付録	• 110～136	• 付録1：モデル分析の前提条件等 • 付録2：日本政府部門別ロードマップ

結果の見方 | ②国内各部門の結果

- 国内の部門ごとに、①エネルギー消費量/供給量※、②利用技術※、③排出量（原単位）の3点に関する5シナリオの経路が示されている。

※電力、ガス、石油部門では、種類別のエネルギー供給量として示されている



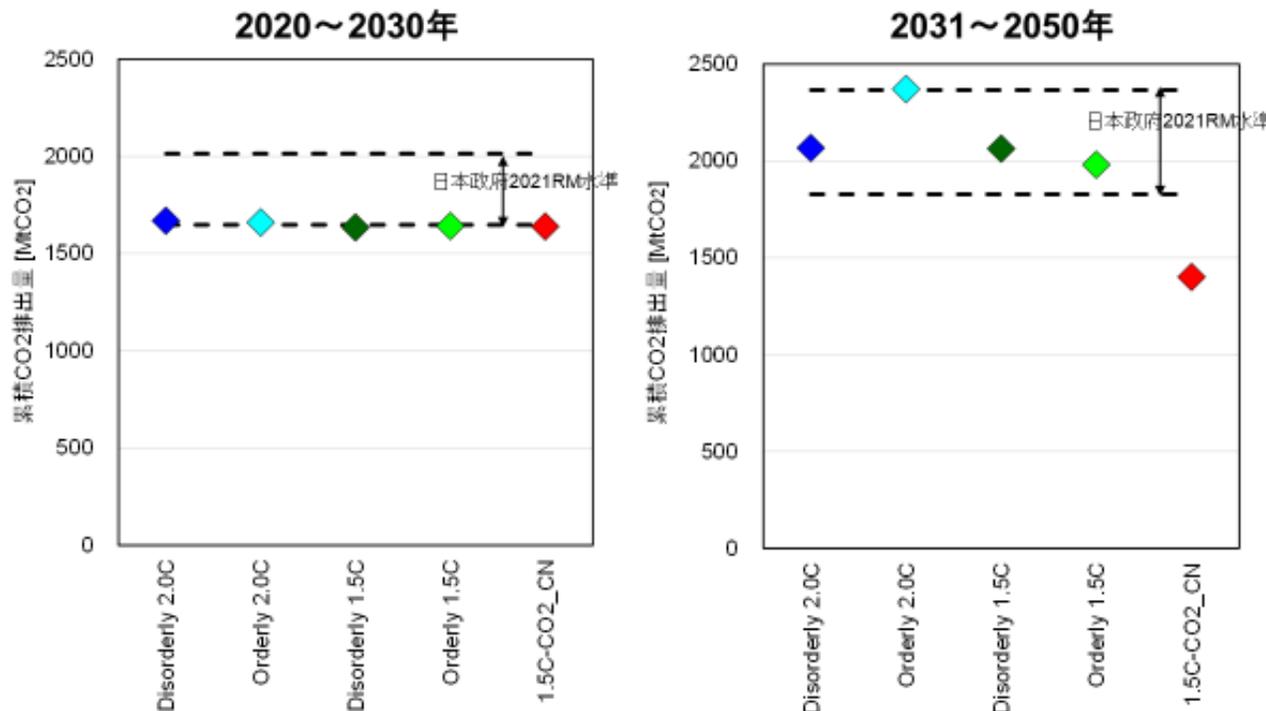
結果の見方 | ③政府分野別ロードマップとの比較

- 経済産業省で分野別ロードマップを策定しているセクターについては、2020年～2030年、2031年～2050年それぞれで累積排出量を比較している。
- RITE分析による累積排出量よりもロードマップ経路に基づく累積排出量が小さければ、そのシナリオにおける他部門や世界の他の移行状況を前提にした1.5℃等を満たすカーボンバジェットをロードマップ経路に基づく累積排出量が満たしている、といえる。
- 今回の結果を踏まえると、政府の分野別ロードマップは2度未満シナリオのみならず1.5℃シナリオにも概ね整合しており、①ロードマップの科学的根拠の補強として活用できると考えられる。

鉄鋼部門CO₂排出量（日本）：政府RMとの比較



83



凡例

①プロット (◆) : RITEモデルの結果に基づく累積排出量。5シナリオについて結果が示されている。

- ◆ : Disorderly 2.0C
- ◆ : Orderly 2.0C
- ◆ : Disorderly 1.5C
- ◆ : Orderly 1.5C
- ◆ : 1.5C-CO₂_CN

②破線 (---) : 分野別技術ロードマップに基づく累積排出量。ロードマップ経路は幅を持って示されているため、上限値・下限値に基づく2つの破線が示されている。

モデルの限界と留意点

- 技術・経済ポテンシャルは国間で比較評価しやすいものの、それを超えた各国の事情（例えば、**日本における原子力や再エネ、CCS等に対する社会・物理的制約**など）はあまり考慮していない。よって、日本におけるより詳細な分析は、別途、より詳細な制約などを考慮しつつ実施することが求められる（例えば、日本国内の電力システムの構成などは考慮できておらず、再エネ導入地点による系統対策コストの差異などは評価が困難であり、東大-IEEJ電源構成モデルの分析結果を援用している）。
- 現実の政策では、エネルギー安全保障を踏まえた上で、温室効果ガス排出削減対策がなされるべきだが、本シナリオ分析では**エネルギー安全保障上の考慮は行っていない**。
- 動学的な最適化を行うモデルであるため、2100年までの将来の姿を踏まえた上での、2050年などの途中時点の評価がなされるという長所がある。また、コスト最小化という基準での評価であり、恣意的なシナリオ設定は極力排除される一方、経済合理性が成立した途端に、急に技術が完全代替するなど、極端な変化を示すこともあることに注意が必要。特にトランジションの分析結果については注意して結果を解釈すべき。（現実世界は、多様な選択者がいるため、急激に変化せず、普及曲線に従うようなことは多い。そのような表現に優れた計量経済モデルと比べると、本最適化型モデルは、極端な変化を示す場合がある。）
- モデルを用いて作成したシナリオ・ロードマップは、国・部門の平均的なトランジション経路を提示している。個社や個別プロジェクトは、それぞれの多様な事情の中で技術選択、投資がなされるべきである。策定した本ロードマップは、前提条件次第で変化する可能性も高く、あくまで目安であり、画一的に投資判断等の材料すべきものではない。