

2021年3月1日

国境炭素調整に関する分析 —鉄鋼製品を事例として—

(公財)地球環境産業技術研究機構(RITE)

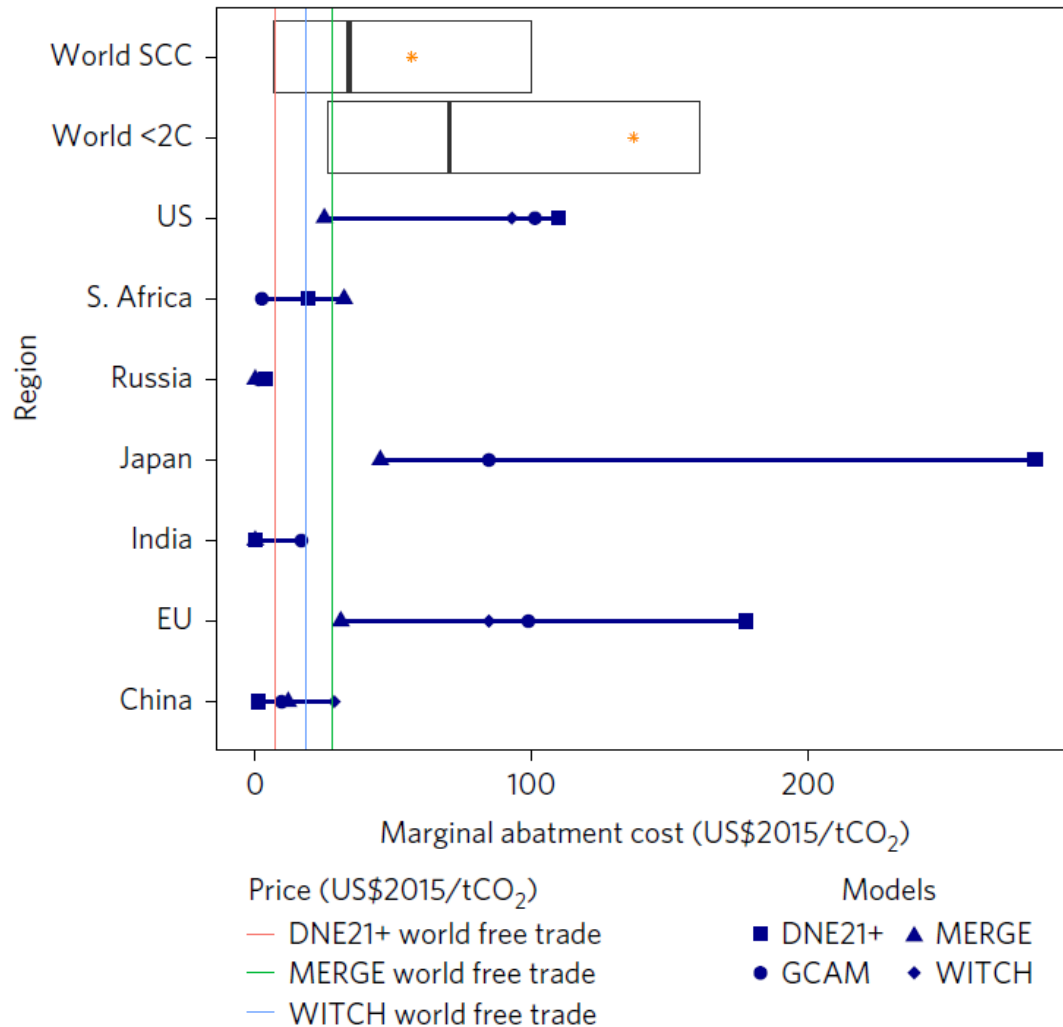
システム研究グループ

秋元 圭吾、本間 隆嗣



- ◆ 欧米で炭素国境調整 (Border Carbon Adjustment: BCA) 導入の議論が盛んになってきている。BCAの効果や課題検討などが必要と考えられる。
- ◆ 本資料では、RITEが開発してきた世界エネルギー経済モデルを用いて、まずは理解しやすさのため、鉄鋼製品のみを焦点を当て、国境炭素調整が導入された際の影響分析を行った。本資料では、直接の鉄鋼製品のみに対するBCAを想定し、鉄鋼製品が利用される自動車製品等に対するBCAは今回の分析では考慮していない。(鉄鋼製品に加え、化学、窯業土石非金属(含むセメント)を対象とした分析結果は、付録に簡単に掲載)
- ◆ 各種想定シナリオの下で、BCA導入に伴う、主要各国の利得を分析することで、各国が取りそうな戦略を理解するとともに、日本の戦略への含意を理解する。

2030年国別貢献NDCsのCO₂限界削減費用推計



2025-30年平均値

注) EUは1990年比▲40%を想定

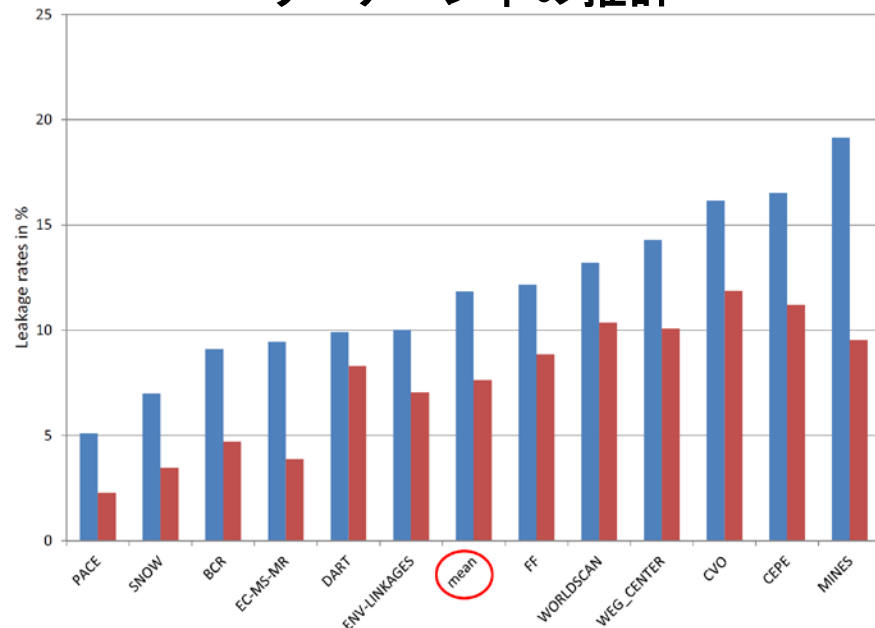
Source: J. Aldy et al., Nature Climate Change, 2016

- NDCsの限界削減費用は各国間で大きな差異あり(世界の4モデルでの評価)。各国間の限界削減費用の差は、エネルギー多消費産業を中心に国際的な競争力に大きな影響を及ぼす可能性大。
- 日、EU、米の限界削減費用は高い傾向あり。

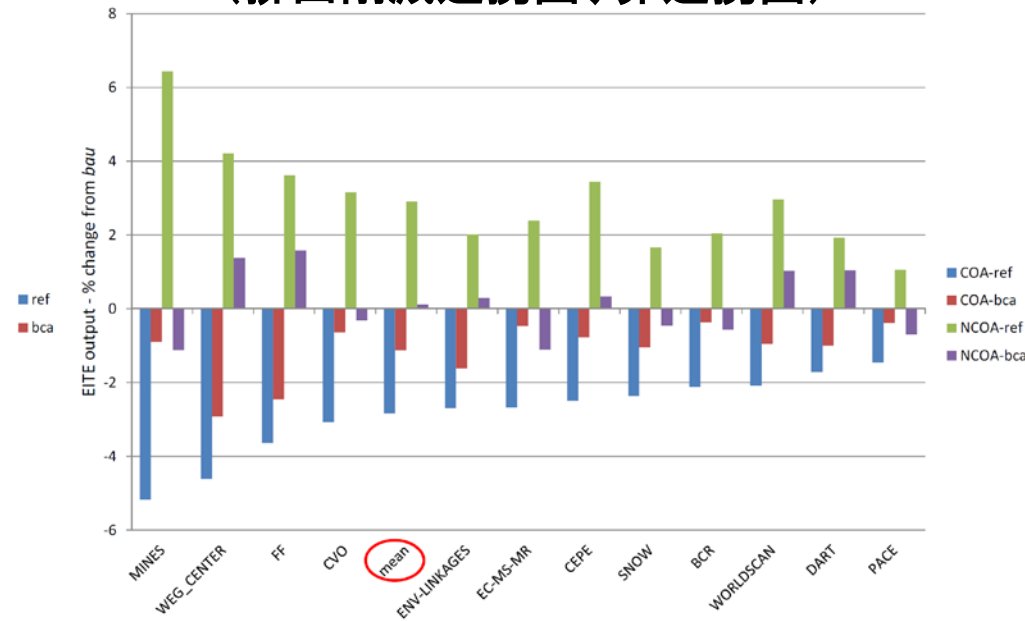
既往の国境調整税に関するモデル分析例

米エネルギーモデリングフォーラムEMFによる複数モデルの比較

BCAの有無によるCO₂の リーケージ率の推計



BCAの有無によるEITEの生産量変化 (排出削減連携国、非連携国)



出典) Böhringer et al., Energy Economics (2012)

- 分析で想定されたBCAの対象は、エネルギー集約・貿易依存産業(EITE: Refined oil products、chemical products、non-metallic minerals、iron and steel industry、non-ferrous metals)
- Annex I国・地域(ロシアを除く)(排出削減連携国)が、2004年比20%減を想定
- 各モデルで推計された限界削減費用(カーボンプライス)と同額の税率で、排出削減非連合国からの輸入品の関税として課されると想定。また、排出削減連合国から非連合国への輸出品について税金還付がなされると想定
- BCAにより、炭素リーケージが20~50%程度(モデルによる)が低減されると推計されている。
- 排出削減連携国のEITEの生産量は2~4%程度低下。BCAにより1~2%程度の低下に緩和可能と推計

本報告の分析：世界エネルギー経済モデルDEARS*の概要

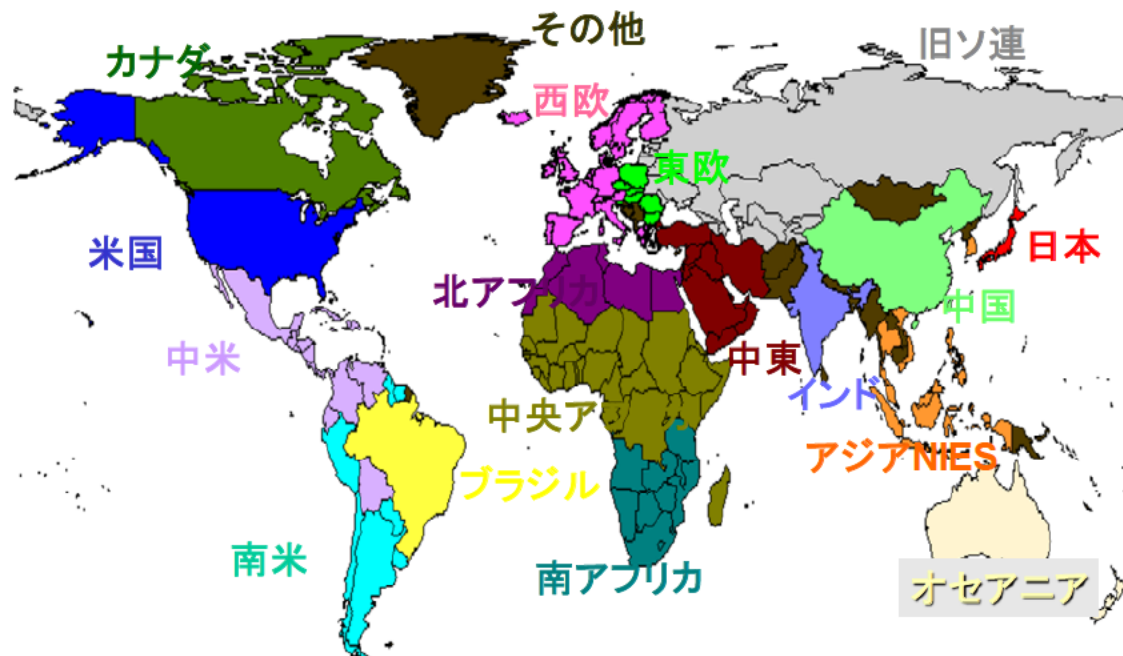
(Dynamic Energy-economic Analysis model with multi-Regions and multi-Sectors)

- ◆ トップダウン型経済モジュールとボトムアップ型エネルギーシステムモジュールの統合モデル
- ◆ 動的非線形最適化モデル（世界全体の消費効用最大化）
- ◆ モデル対象期間：21世紀中頃まで（最適化時点間隔 10年）
- ◆ 世界地域分割：18地域分割
- ◆ 非エネルギー産業分類：16分類（貿易は輸入財・国内財の代替性を考慮[アーミントン構造]）
- ◆ エネルギー分類：IEA統計に基づき、一次エネルギー8種、二次エネルギー4種。（IEA統計の鉄鋼部門のエネルギー消費のバウンダリーの修正。）
- ◆ GTAP (Global Trade Analysis Project) モデル・データベースに基づく産業連関構造を明示した経済モジュール
- ◆ 簡略化ながら、ボトムアップ化したエネルギーシステムモジュール
 - ✓ ボトムアップ的にエネルギー供給技術（発電技術等）、CO2回収・貯留技術をモデル化
 - ✓ 一次エネルギー供給：8種類をモデル化（石炭、原油、天然ガス、水力・地熱、風力、太陽光、バイオマス、原子力）
 - ✓ トップダウン的にエネルギー需要サイドをモデル化（家計：エネルギー価格・所得弾性、産業・運輸：エネルギー価格弾性、これらはすべて経済モジュールとリンク）
 - ✓ 最終エネルギー消費：4種類をモデル化（固体燃料、液体燃料、気体燃料、電力）

政府のエネルギー・環境会議選択肢の経済分析等にも活用された。

【参考】 DEARSモデルの地域、産業区分

◆ 世界18地域・18非エネルギー産業を対象



DEARSにおける18産業分	大分類
農業	農林水産業
鉄鋼	
化学	素材産業
非鉄	
非金属	
紙パ	
木材	
自動車	自動車・機械産業
機械	
その他製造	
鉱業	軽工業産業
食品	
繊維	建設産業
建設	
ビジネスサービス	サービス産業
社会サービス	
陸海運	輸送産業
空運	

※ 今回のBCA分析においては、単純化し、EU、米国、日本以外の15地域は、その他地域ROW (Rest of the World) として、同じCO2排出削減行動、同じBCAの行動をとるものと想定した。

モデル分析のためのBCA関税に関するケース想定(鉄鋼製品対象)

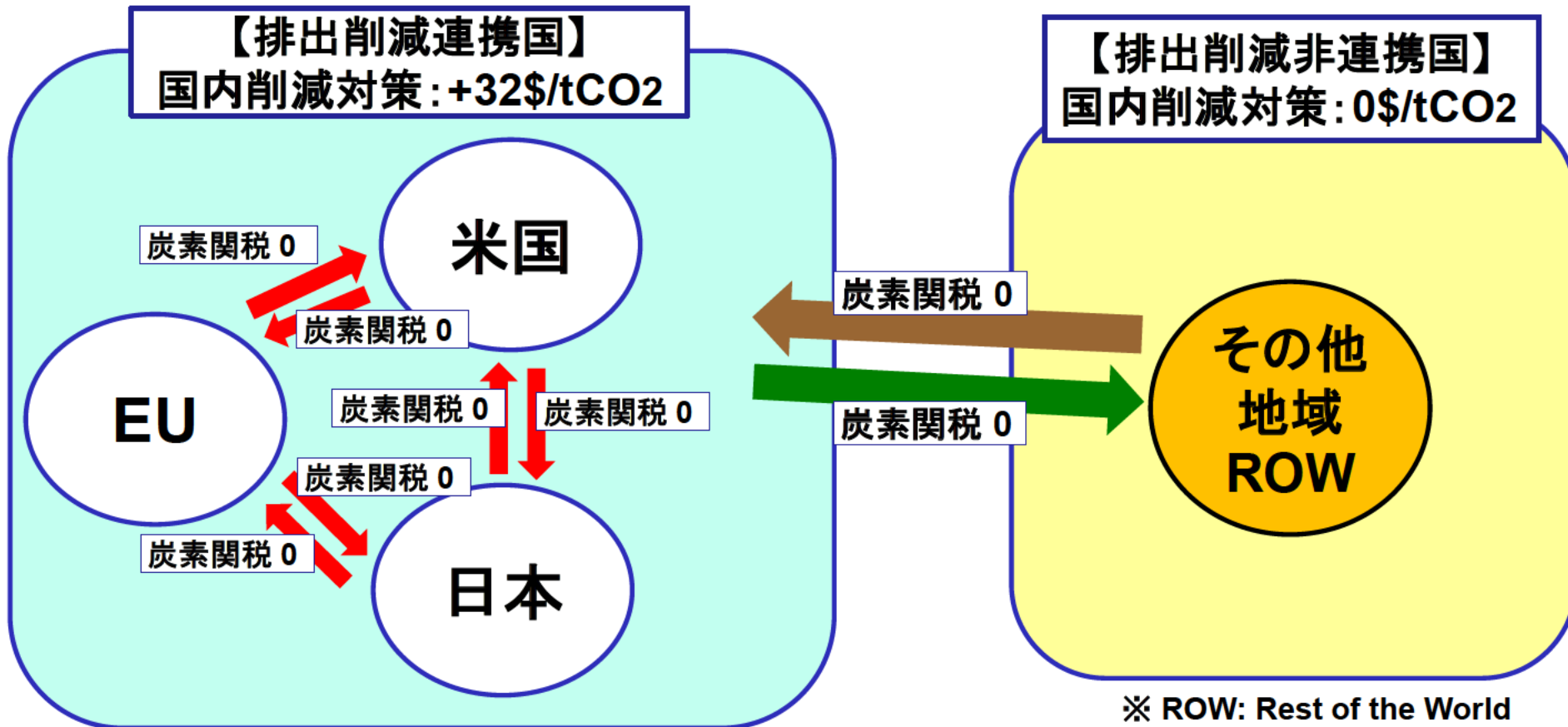
	ケース名	国内の削減対策を実施する地域	国内対策を実施しない地域ROWからの輸入財に対する炭素関税	ROWからの報復関税 (-R)
(1)	TRI	日米EU	×	×
(2)	WLD	世界限界削減費用均等	×	×
(3)	TRI-BCA(EU)	日米EU	BCA[EU単独で実施*]	×
(4)	TRI-BCA(EU)-R	日米EU	BCA[EU単独で実施*]	○[EUのみが報復を受ける]
(5)	TRI-BCA	日米EU	BCA[日米EUが実施]	×
(6)	TRI-BCA-R	日米EU	BCA[日米EUが実施]	○[日米EUが報復を受ける]

*「EU単独で実施するBCA」は、国内削減対策を実施している日本と米国に対しては適用しないと想定した。

【その他の分析の前提条件】

- ・炭素価格・炭素関税は、2020年32\$/tCO₂(EU-ETSの2019年7月時点の炭素価格を参照して想定。30年については45\$/tCO₂)を想定(別途感度解析有)
- ・炭素価格・炭素関税は、電力消費に関する排出量(間接CO₂排出量)を含めて考慮
- ・BCA実施の際には、輸出リベートを考慮。リベートにより、国内対策による価格の増分が相殺される。
- ・報復関税は、鉄鋼製品へのBCA関税と同率を、鉄鋼製品に想定(従価換算税率100%以下の範囲で割増関税を認めたWTOルール)。報復措置としてのダンピングは考慮しない。
- ・炭素税・炭素関税の歳入は政府収入とし政府消費に用いられると想定
- ・輸入財と国産財の需要に関する代替性の想定:代替弾力性1.5
- ・ベースラインの人口、マクロ経済想定は、中位シナリオSSP2 (Shared Socioeconomic Pathway)を想定

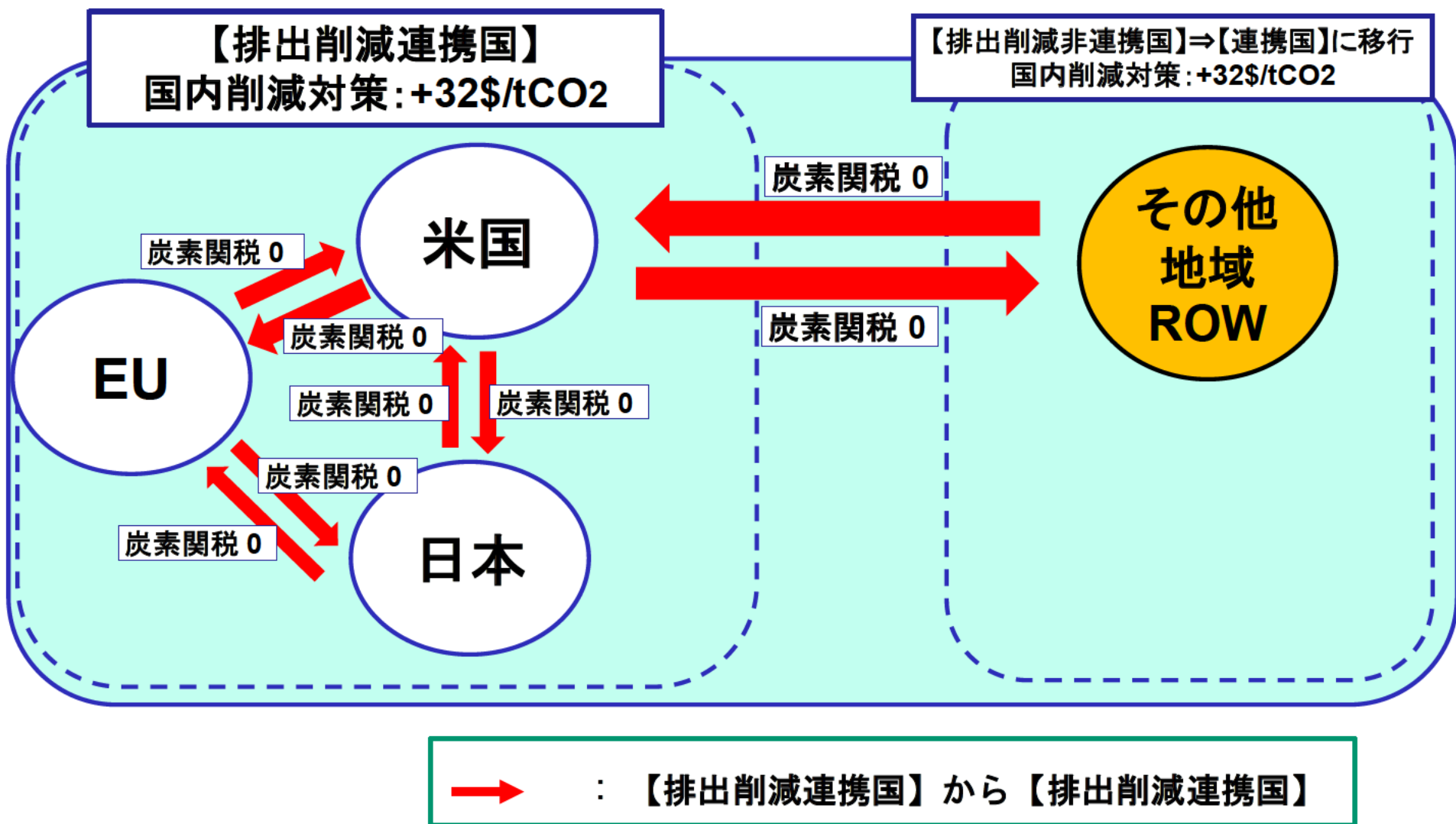
ケース1: TRI (日米EUのみ排出削減対策)の説明図



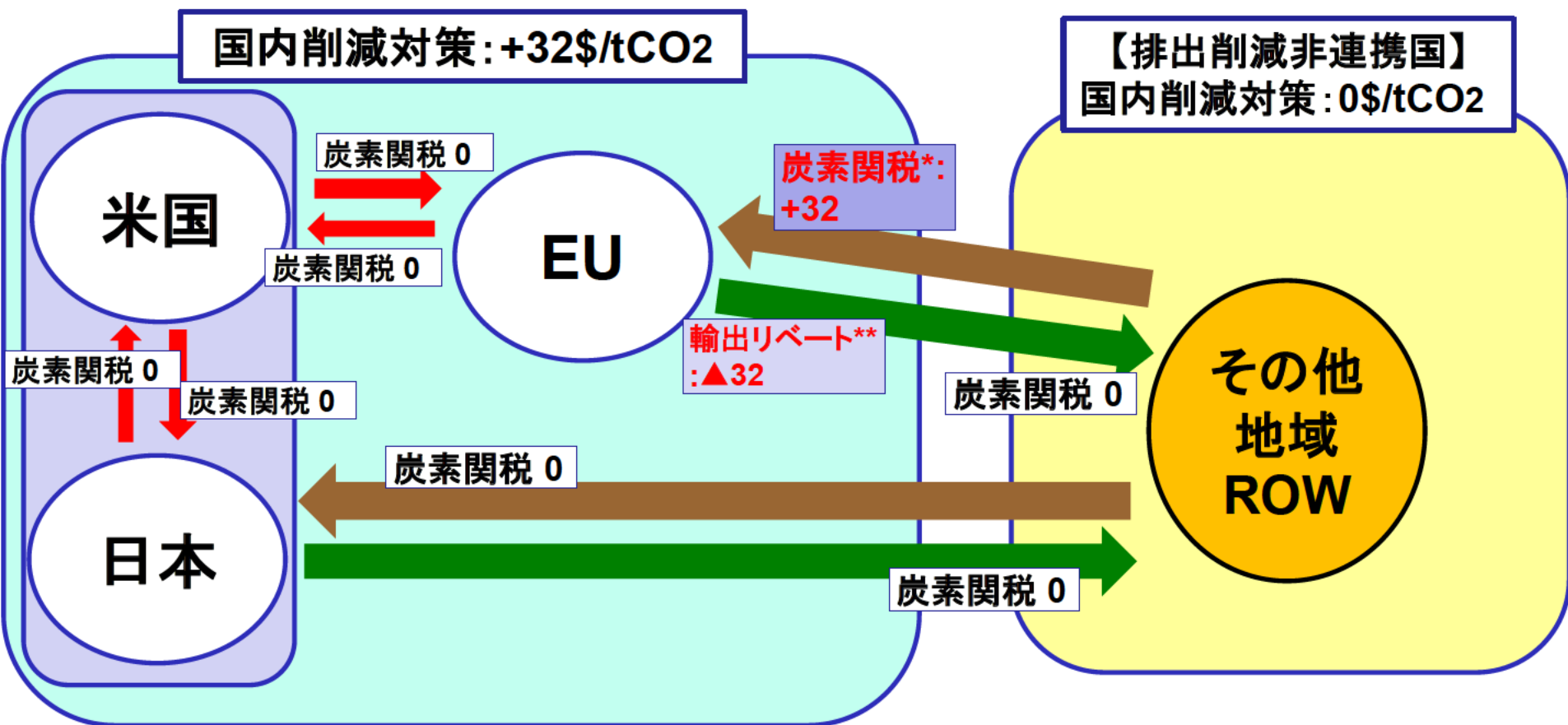
-  : 【排出削減連携国】から【排出削減連携国】
 : 【排出削減連携国】から【排出削減非連携国】
 : 【排出削減非連携国】から【排出削減連携国】

注:簡略のため、一部の貿易フローのみを表示。
炭素価格・関税は32\$/tCO₂の場合を記載。

ケース2:WLD(世界限界削減費用均等)の説明図



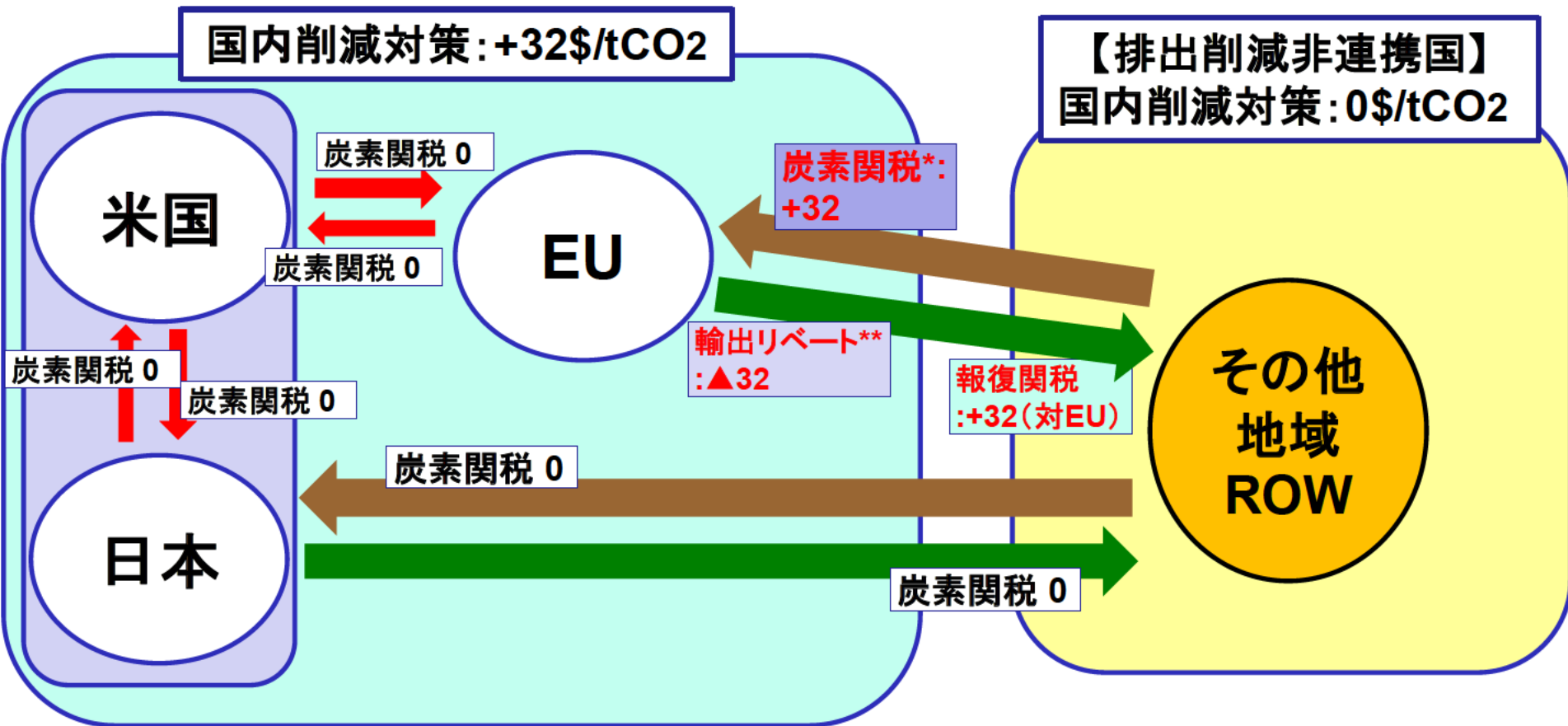
ケース3: TRI-BCA(EU)の説明図



*炭素関税は、個々の製品は、製造プロセス等によってCO₂原単位が異なるが(例えば、転炉鋼と電炉鋼では原単位が大きく異なるし、どのような効率を有する製鉄所で製造されたのかによっても異なる)、製品別(本分析では鉄鋼製品は区別なく1製品と想定)、国別の平均的な炭素含有率を適用して、それぞれ輸入量に基づき課せられると想定

** 輸出リベートにより、輸出価格は、国内対策による国内生産価格の増分が減免されると想定

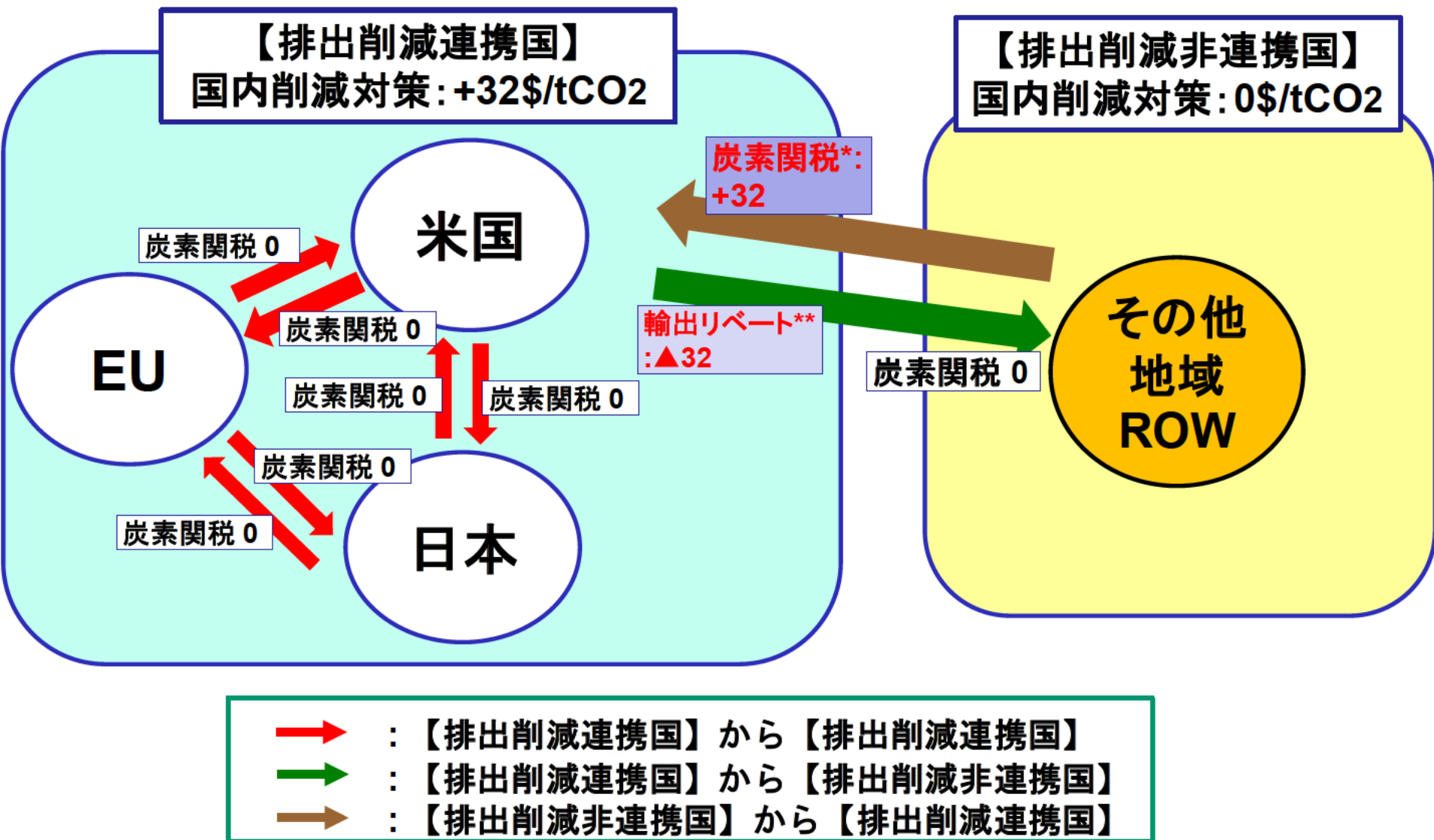
ケース4: TRI-BCA(EU)-Rの説明図



*炭素関税は、個々の製品は、製造プロセス等によってCO₂原単位が異なるが、製品別、国別の平均的な炭素含有率を適用して、それぞれ輸入量に基づき課されると想定

** 輸出リベートにより、輸出価格は、国内対策による国内生産価格の増分が減免されると想定

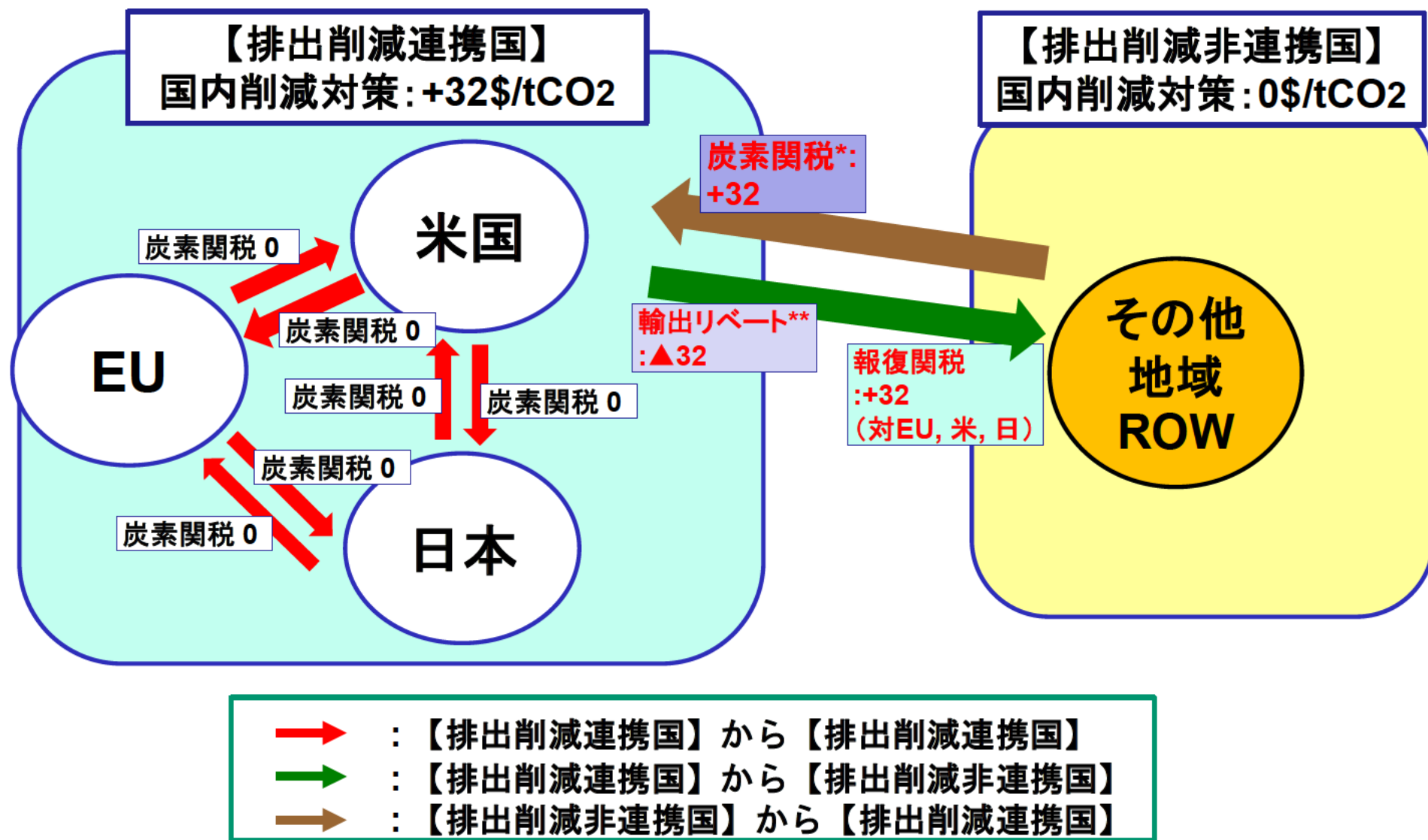
ケース5: TRI-BCAの説明図



*炭素関税は、個々の製品は、製造プロセス等によってCO2原単位が異なるが、製品別、国別の平均的な炭素含有率を適用して、それぞれ輸入量に基づき課されると想定

** 輸出リベートにより、輸出価格は、国内対策による国内生産価格の増分が減免されると想定

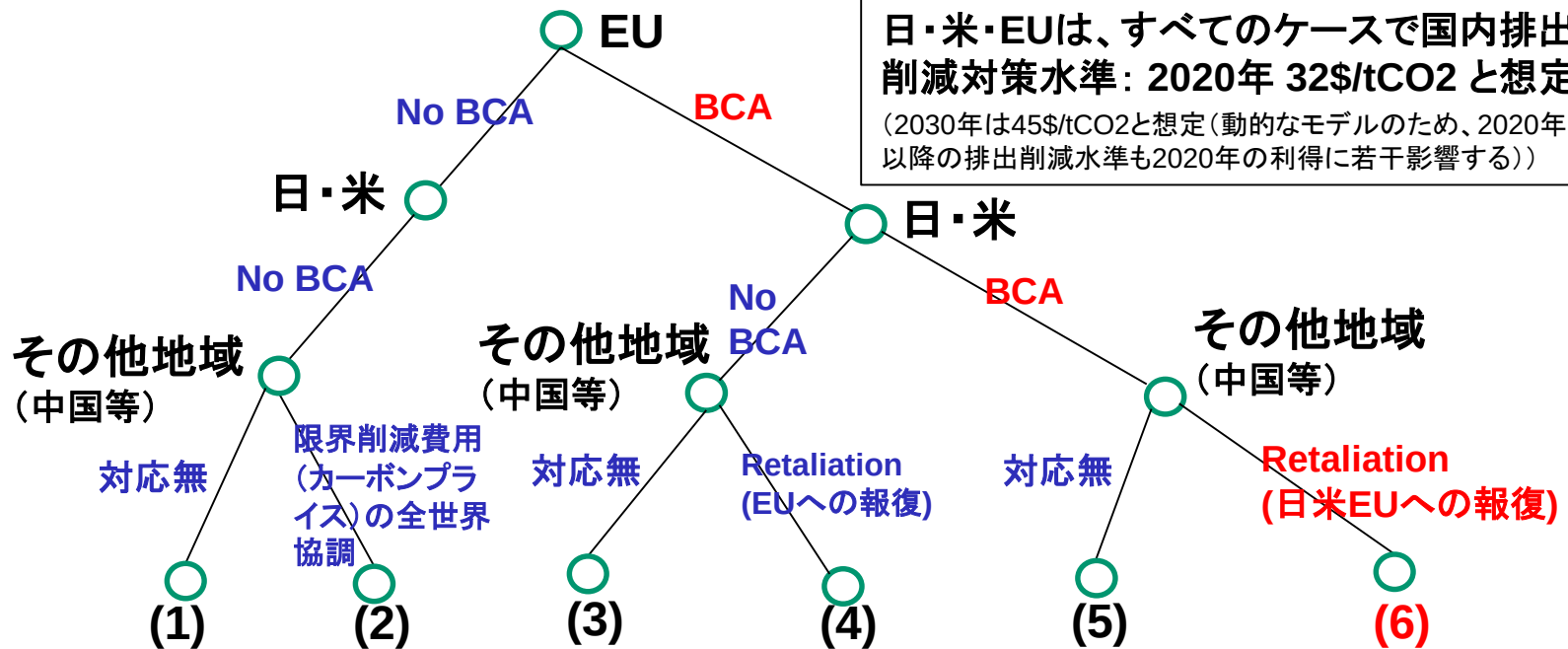
ケース6: TRI-BCA-Rの説明図



*炭素関税は、個々の製品は、製造プロセス等によってCO2原単位が異なるが、製品別、国別の平均的な炭素含有率を適用して、それぞれ輸入量に基づき課されると想定

**** 輸出リベート**により、輸出価格は、国内対策による国内生産価格の増分が減免されると想定

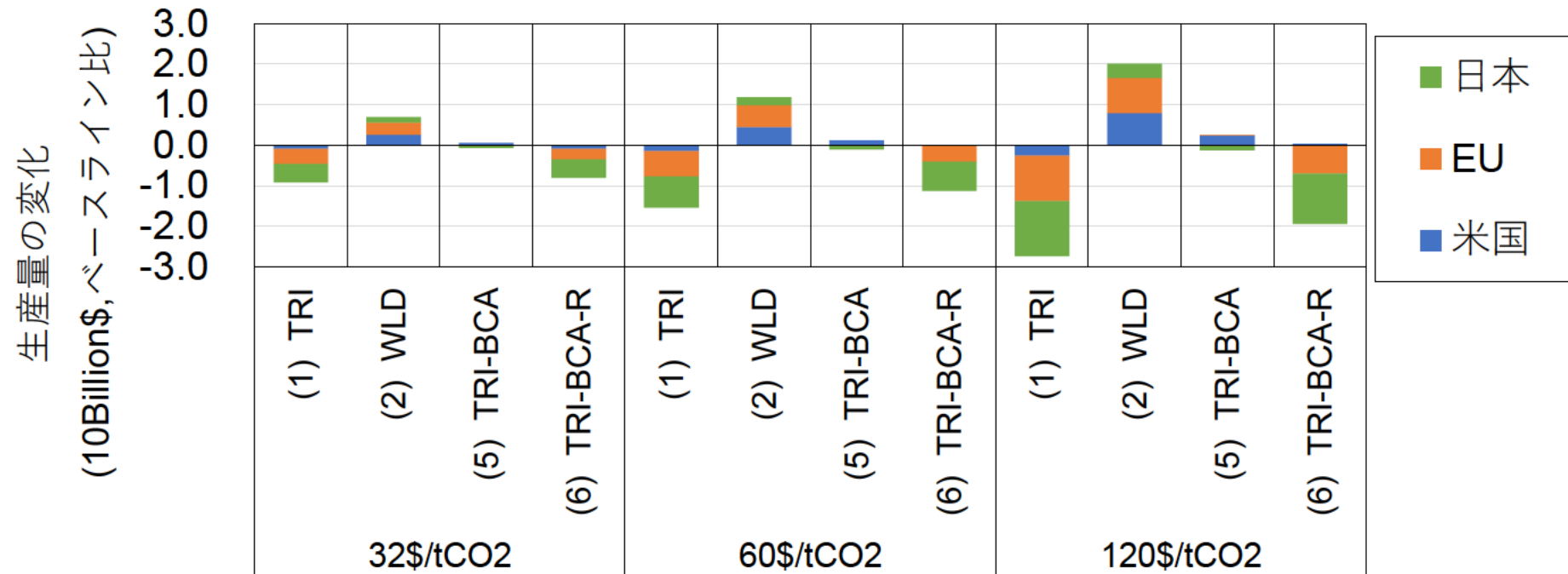
各ケースにおける国別の利得(鉄鋼生産量)および世界CO2排出量 (2020年)



		TRI	WLD	TRI-BCA(EU)	TRI-BCA(EU)-R	TRI-BCA	TRI-BCA-R
鉄鋼製品の 生産量の変化 (%, ベースライン比) +: 利得, -: 損失	米国	-0.28%	+0.81%	-0.31%	-0.27%	+0.19%	-0.02%
	EU	-0.60%	+0.49%	-0.01%	-0.42%	-0.04%	-0.41%
	日本	-1.07%	+0.31%	-1.12%	-1.08%	-0.12%	-1.01%
	中国	+0.11%	-0.43%	+0.06%	+0.09%	-0.03%	+0.07%
鉄鋼製品の 世界CO2排出量 (MtCO2)		3,497	3,191	3,495	3,496	3,494	3,496

<中国> EU単独または日米EUによりBCAが実施されるならば、報復関税を実施する方が利得が大きい。
 <米国> 鉄鋼製品の輸出量よりも輸入量が大きいため、BCA実施のメリットが大きく、報復による悪影響も小さい。
 <日本> 鉄鋼製品の輸入量よりも輸出量が非常に大きいため、日本からの輸出に対する報復の悪影響が大きい。**利得上は中国等による報復の可能性も高いと考えると、BCAはあまり得策とは言えない。**

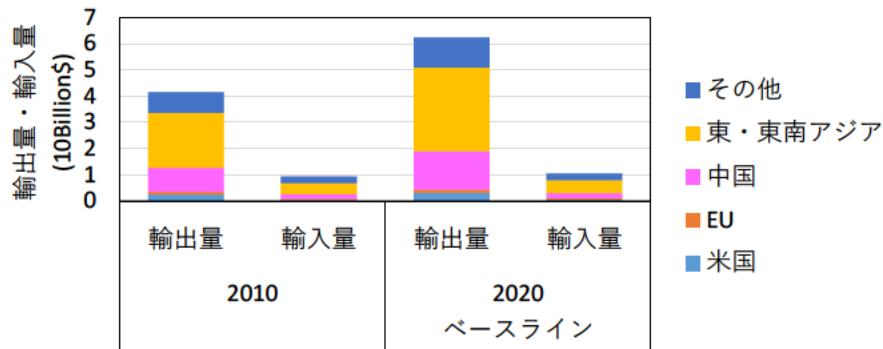
鉄鋼製品の地域別の生産量変化(2020)



- 日米EUの中でも、米国への影響は小さい。転炉鋼・電炉鋼の区分がない鉄鋼製品全体のもとの枠組みにおける、鉄鋼製品の価格の上昇率は、「日本（転炉高炉比率が高い）＞EU＞米国（電炉比率が高い）」の順に大きくなるためである。
- 米国にとっては、報復があったとしても、鉄鋼製品のBCAを実施するインセンティブが高い。
- 日本は、鉄鋼製品の輸入量よりも輸出量の比率が大きいため、国境調整措置による効果が小さく、一方、報復関税による悪影響が相対的に大きい。（2020年baselineの輸出/輸入の比率:日5.0、米0.9、EU2.0、中1.5）

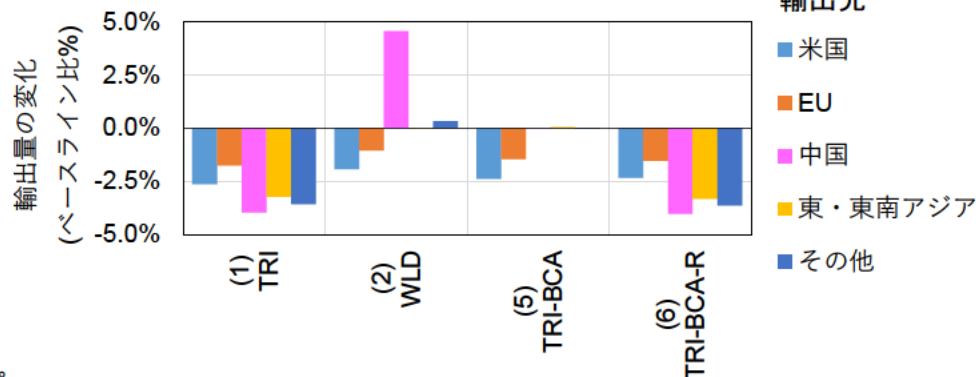
国境調整・報復による日本への影響(2020年)

日本の鉄鋼製品・輸出入量(ベースライン)

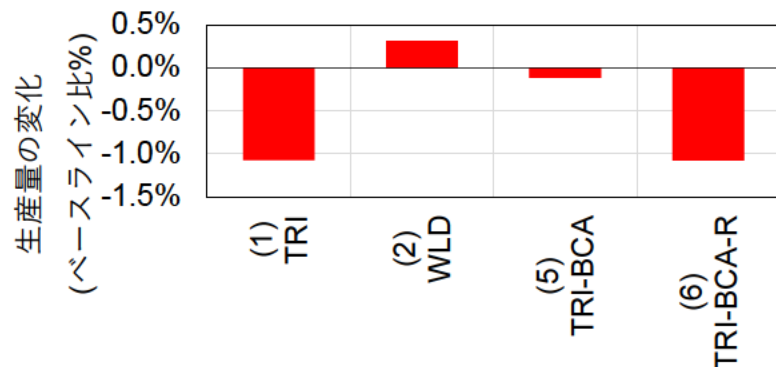


注: 輸出品と輸入品の地域は輸出先と輸入元をそれぞれ表す。

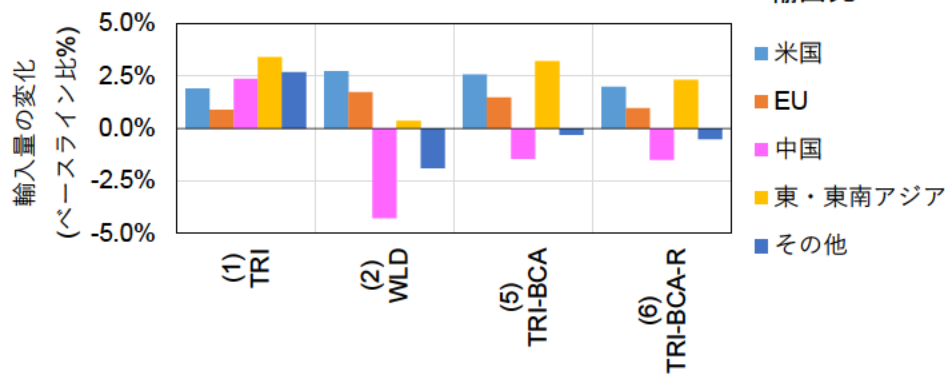
日本の輸出量の変化



日本の生産量の変化



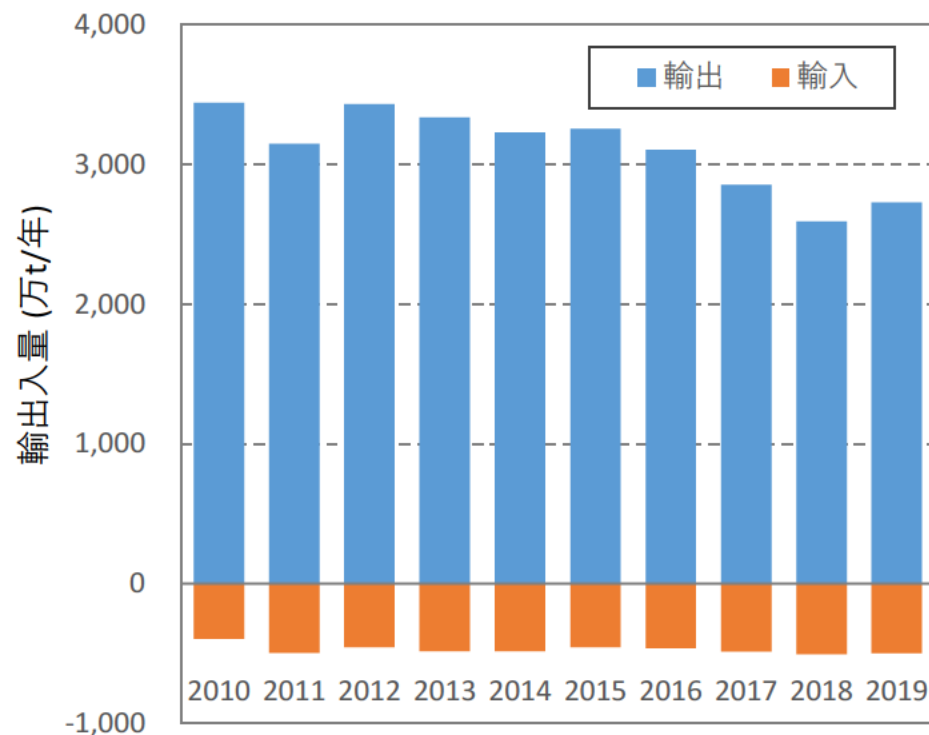
日本の輸入量の変化



- 日米EUのみが国内削減対策を行った場合に、日本の生産量・輸出量は減少し、輸入量は増加となる。貿易相手として影響が最も大きい地域は、東・東南アジアと中国である。国際協調で全世界で同一炭素価格で国内対策を実施すると、日本では生産はむしろ増加し、国際協調を実施するインセンティブは大きい。
- 日米EUが国境調整を導入した場合、輸出リポートのために、東・東南アジアや中国などへの輸出量は影響小。
- 日本は鉄鋼製品の輸出量が輸入量に比べて大きいため、日米EUの国境調整に対抗した報復措置により、日本の国際競争力が低減する。また、転炉鋼・電炉鋼の区分がない鉄鋼製品全体のもとでの枠組みは原単位の優位性は小さく(p.19)、日本の国際競争力への悪影響が大きい。

【参考】日本のエネルギー多消費産業(鉄鋼、セメント)の輸出入量

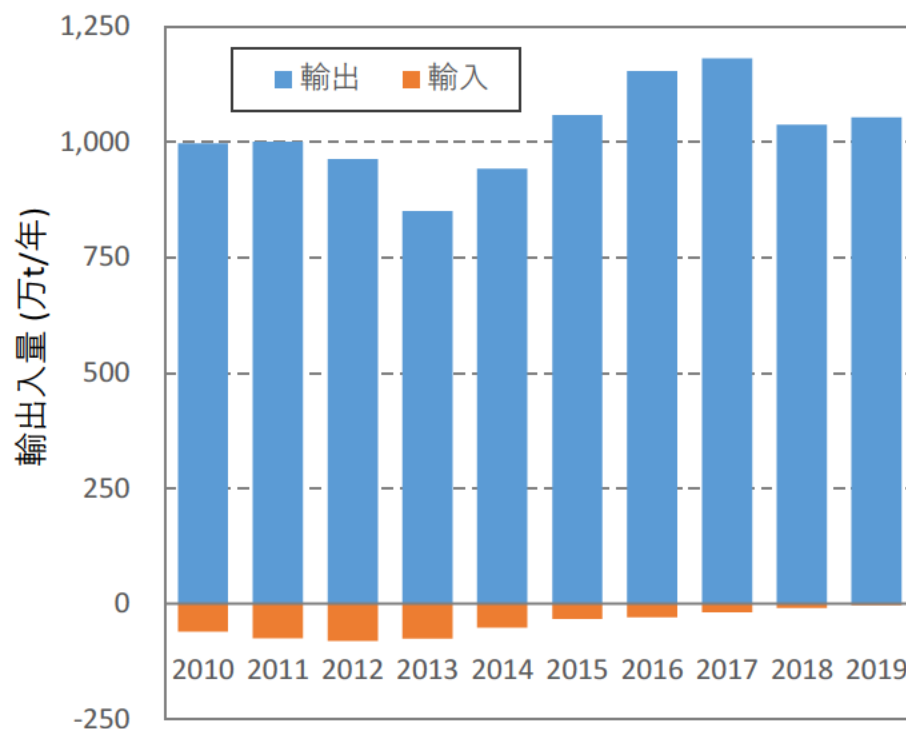
鉄鋼製品(半製品込み)



参考：2019年度の粗鋼生産量7,490万t、
生産した鉄鋼の内、**約4割が輸出**された

出典) 日本鉄鋼連盟, <https://www.jisf.or.jp/data/>

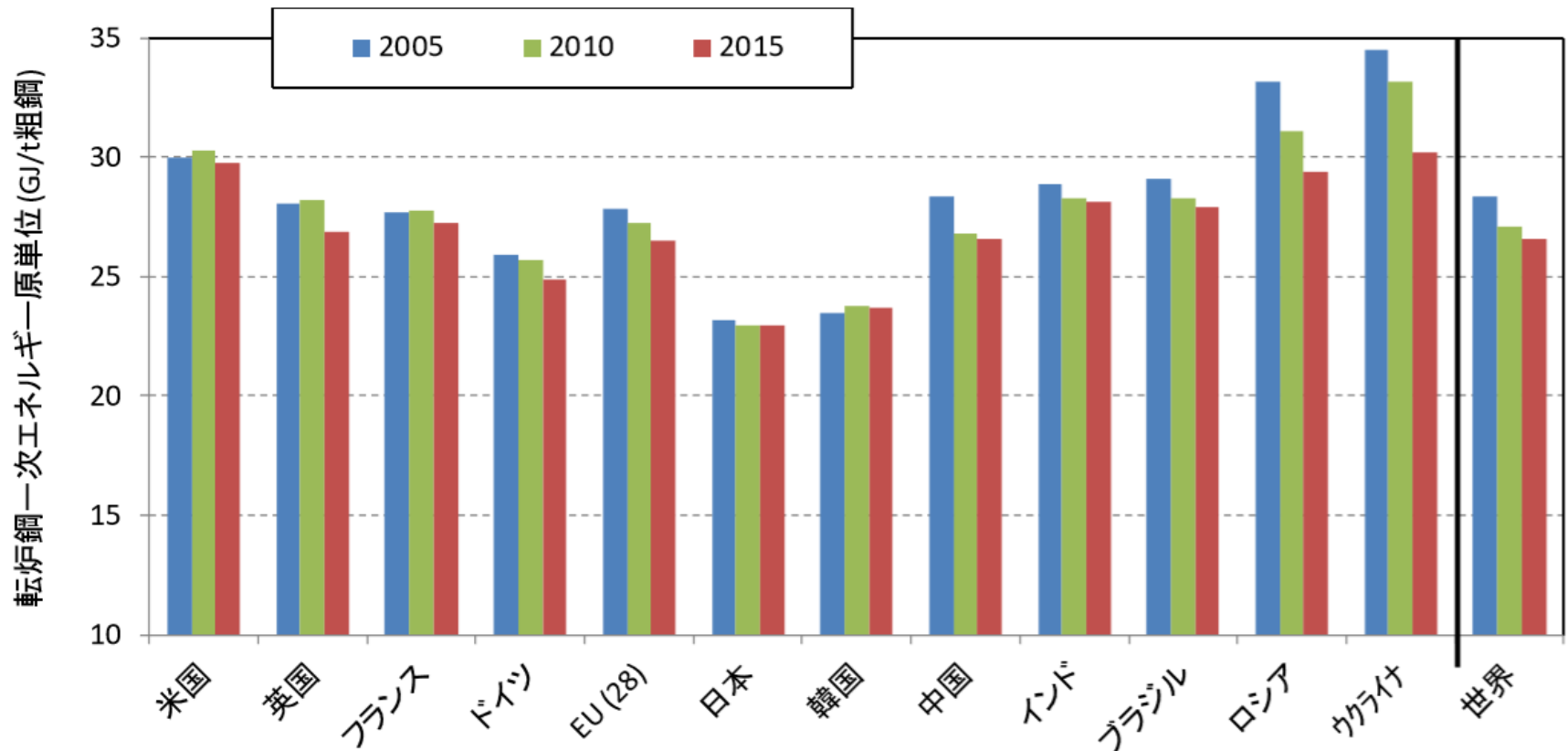
セメント(クリンカ込み)



参考：2019年度のセメント生産量5,690万t、
生産したセメントの内、**約2割が輸出**された

出典) セメント協会, セメントハンドブック, (各年)

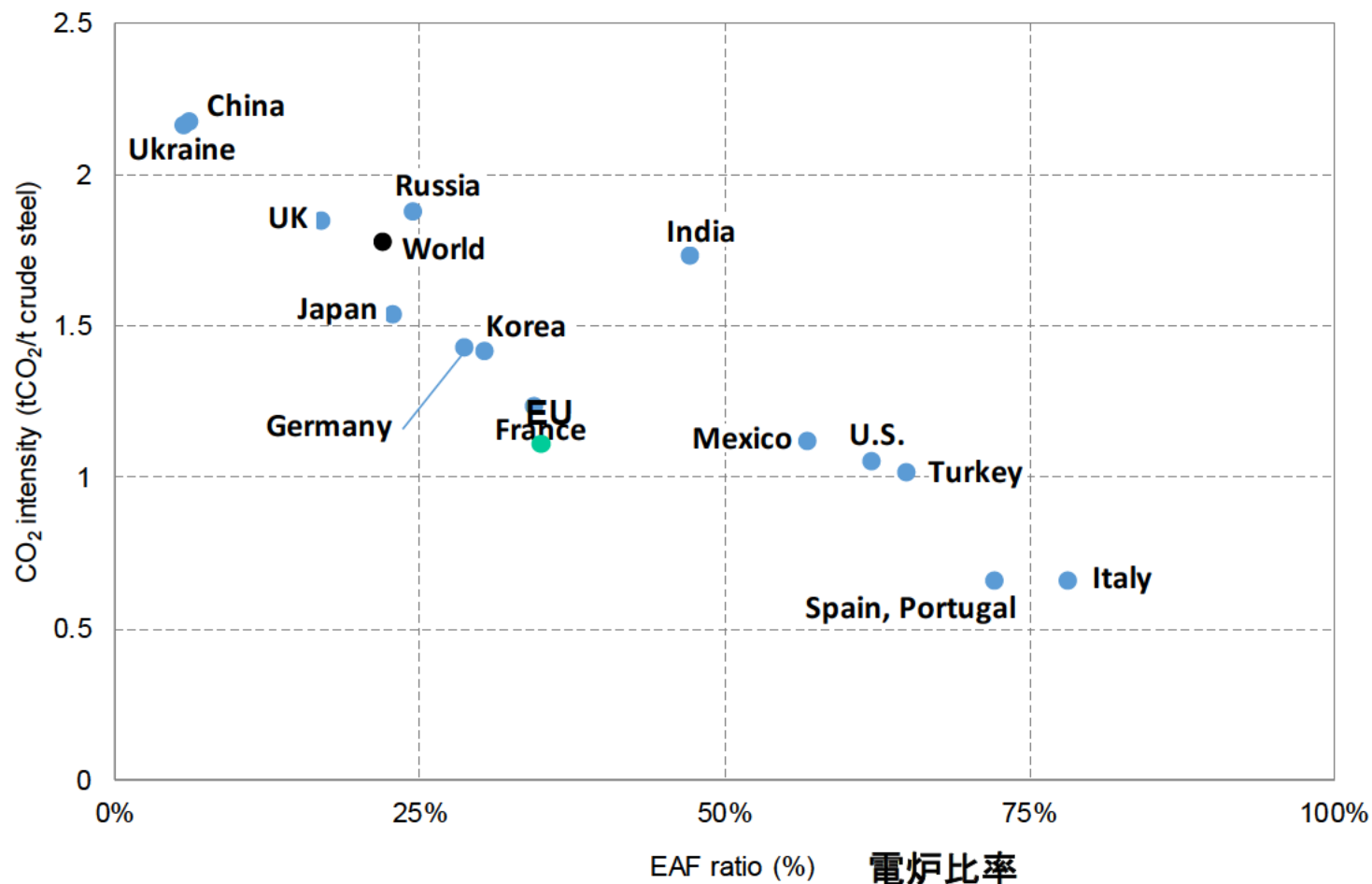
【参考】高炉・転炉法におけるエネルギー原単位の国際比較



出典) RITE推計

- 日本の転炉鋼のエネルギー効率是世界でも最も高い水準
- 日本の電炉鋼のエネルギー効率(グラフ未掲載。RITE HP参照)も同様に世界で最も高い水準

【参考】 2015年における鉄鋼部門のCO₂原単位 (電炉比率との関係性)



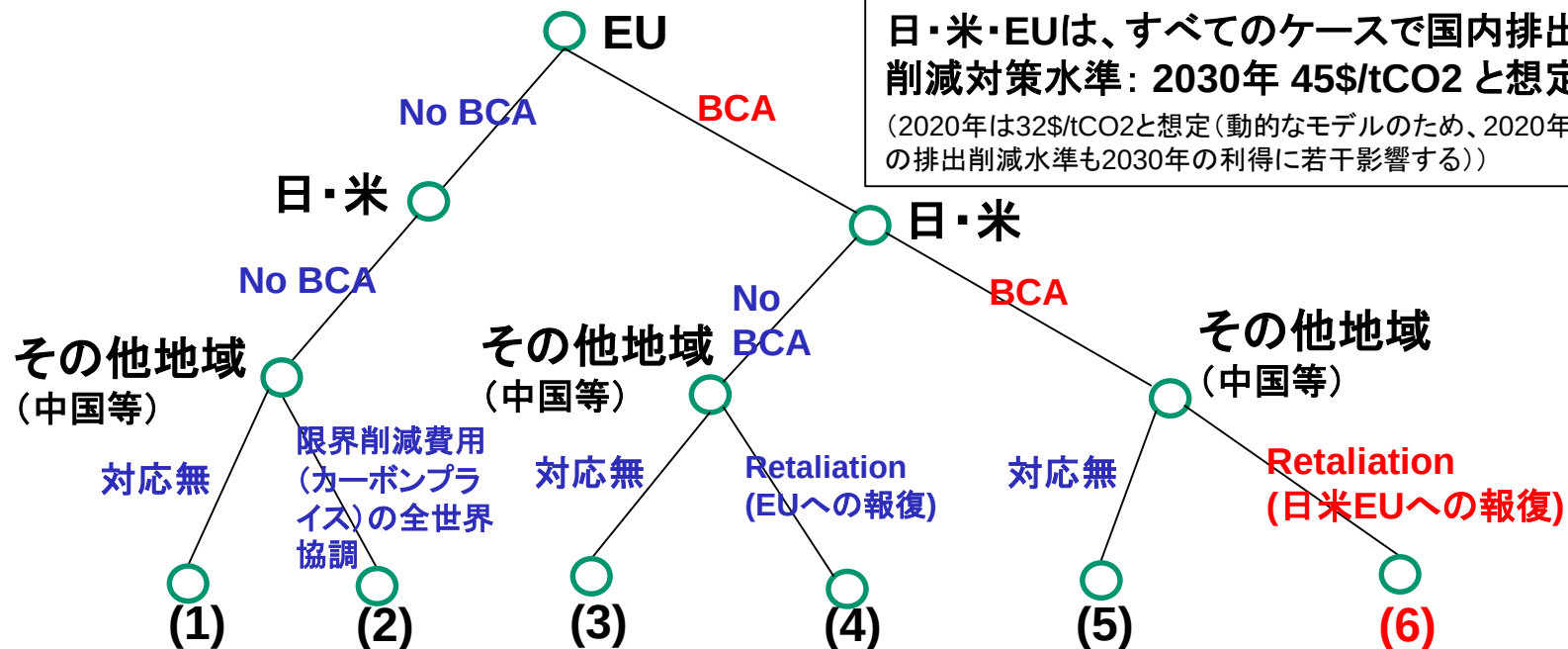
- 鉄鋼部門としてのCO₂原単位は、高炉・転炉鋼、電炉鋼別のCO₂原単位よりも、転炉、電炉鋼の比率により大きく依存する傾向がある。
- しかし、電炉鋼比率は、鉄スクラップの利用可能量、電力価格など、排出削減努力とは無関係に国毎に決まる傾向が強いので、国境調整税において、鉄鋼部門という分類のみ(鉄鋼製品を製法を区別することなく)とすると、日本の優位性は生じにくい。

- ◆ 原則的に、世界全体で費用効率的に排出削減を行うためには、限界削減費用が均等化するような各国排出削減目標となるよう、とりわけ限界削減費用が小さいと推計される国の排出削減目標の野心度の引き上げを目指すことが望ましい。また、2国間クレジットを活用するなど、海外の比較的安価な対策の排出削減機会を実現していくことが求められる。
- ◆ 炭素国境調整による対応は、各国間に限界削減費用に大きな差異が生じたままの場合、そのオプションを有し対応の可能性を持っておくことは重要だが、上記の対応が優先されるべきと考えられる。
- ◆ とりわけ、日本の場合は、製造業が相対的に強く、鉄鋼製品など、輸出を多くしているため、炭素国境調整措置によって、相手国から仮に報復を受けた場合、影響は大きくなるケースも多いと考えられ、慎重な対応が必要ではないか（欧米との影響の度合いは違うことの認識が必要）。
- ◆ なお、炭素国境調整税は、製品の製造プロセスではなく、製品に対して課税されることとなる。例えば、鉄鋼で言えば、高炉・転炉法と電炉法では、エネルギー原単位が大きくなるが、製品において転炉鋼と電炉鋼で代替可能性が存在すると、それらを区分することは難しくなる。しかし、真に排出削減に寄与する対策が評価されず、グローバルな排出削減に逆行する恐れがある。
- ◆ EUが国境調整を導入する場合、今回のモデル分析では、日米EU間では国境調整を課さないという前提としたが、必ずしもそうなるとも限らない。また、日米EUが協力した対応が、日本にとっての利得が高くなる可能性も示唆された。よって、いずれにしても、EU、米をはじめ、国境調整の導入を検討する国々との連携の準備はしておくことは重要

付録1

鉄鋼部門が対象となった場合の
2030年の分析結果
(2030年: 45 \$/tCO₂を想定)

各ケースにおける国別の利得(鉄鋼生産量)および世界CO2排出量 (2030年)



		TRI	WLD	TRI-BCA(EU)	TRI-BCA(EU)-R	TRI-BCA	TRI-BCA-R
鉄鋼製品の 生産量の変化 (%,ベースライン比) +: 利得, -: 損失	米国	-0.28%	+1.12%	-0.38%	-0.30%	+0.25%	-0.25%
	EU	-0.83%	+0.55%	-0.04%	-0.66%	-0.09%	-0.65%
	日本	-1.26%	+0.68%	-1.33%	-1.26%	-0.18%	-1.24%
	中国	+0.16%	-0.48%	+0.09%	+0.14%	-0.01%	+0.11%
鉄鋼製品の 世界CO2排出量 (MtCO ₂)		4,950	4,422	4,948	4,949	4,945	4,949

✓ 2030年についても、2020年の分析結果と同じような傾向が見られる。

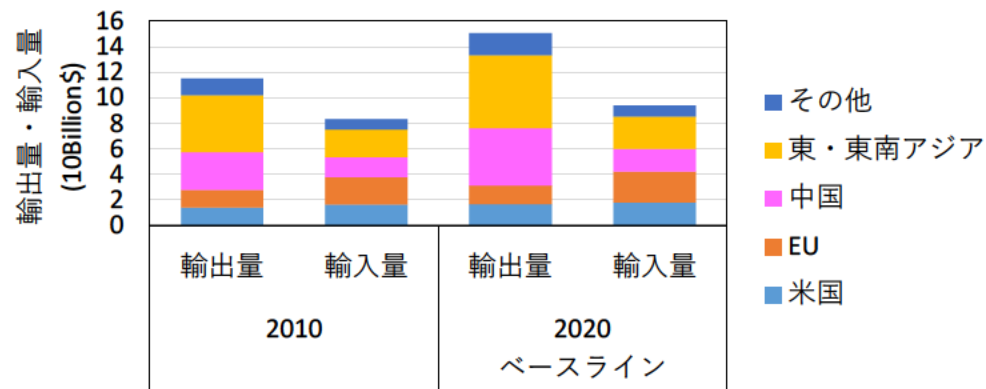
付録2

鉄鋼、化学、窯業土石非金属（セメント含む）の 3部門が対象となった場合の分析結果 （2020年：32 \$/tCO₂を想定）

注）資料の本論部分の説明は、鉄鋼のみを対象にした分析であり、3部門同時に分析した場合の鉄鋼部門の結果は、単独の分析結果とは若干の差異が生じることに留意されたい。

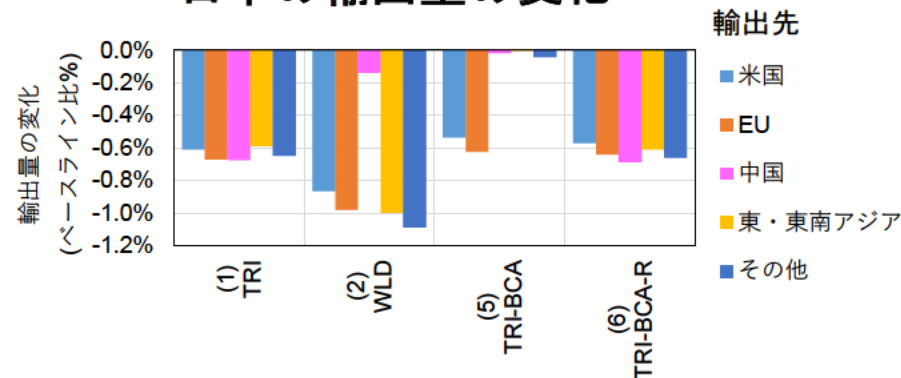
国境調整・報復による日本への影響：化学(2020年)

日本の化学・輸出入量(ベースライン)

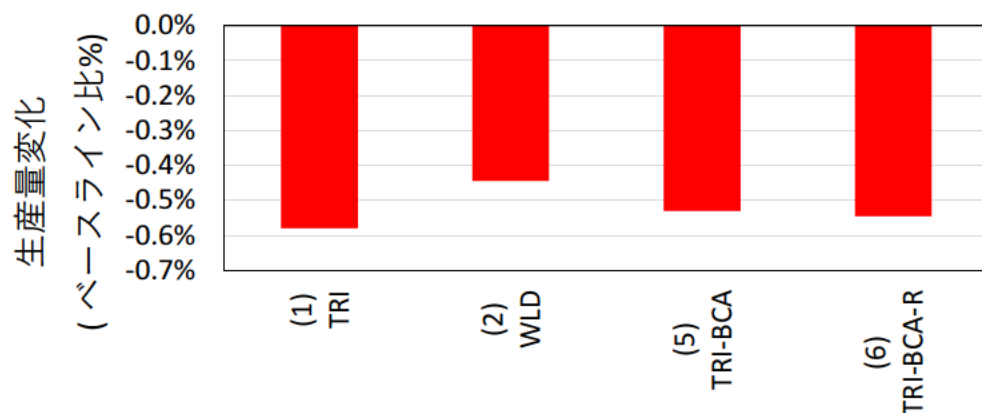


注: 輸出品と輸出品の地域は輸出先と輸出元をそれぞれ表す。

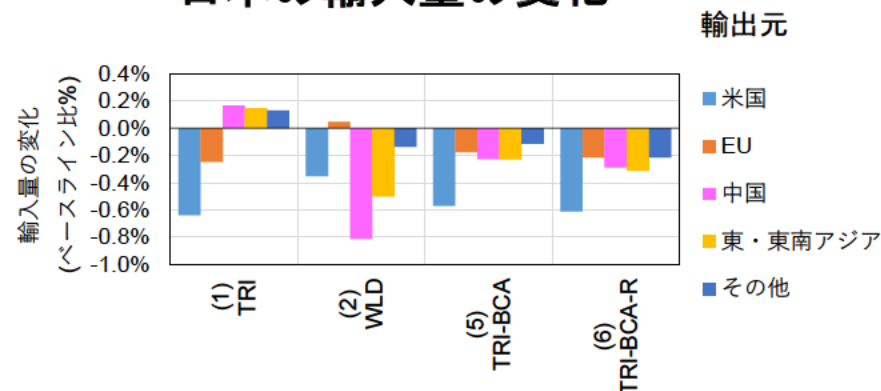
日本の輸出品の変化



日本の生産量の変化

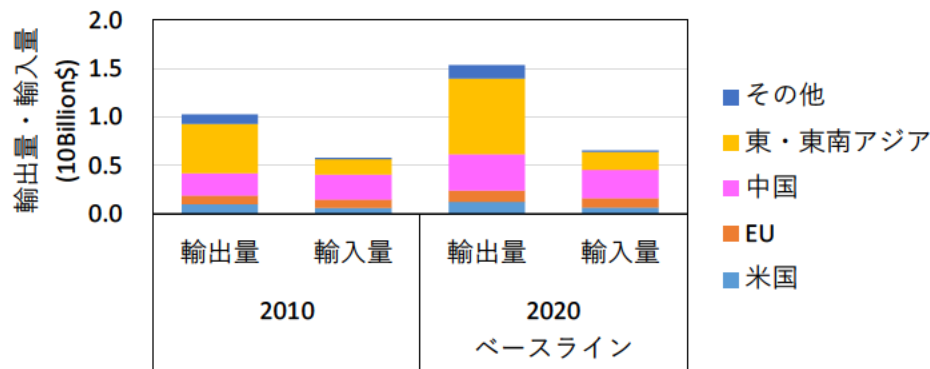


日本の輸入量の変化



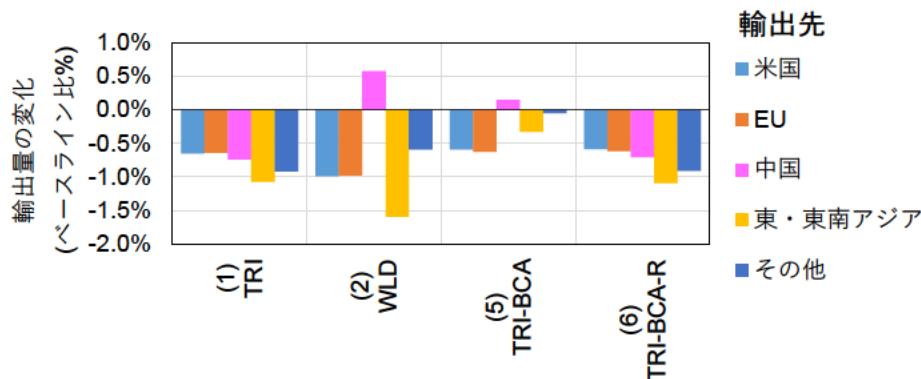
国境調整・報復による日本への影響：窯業土石非金属（非金属）(2020年)

日本の窯業土石・輸出入量（ベースライン）

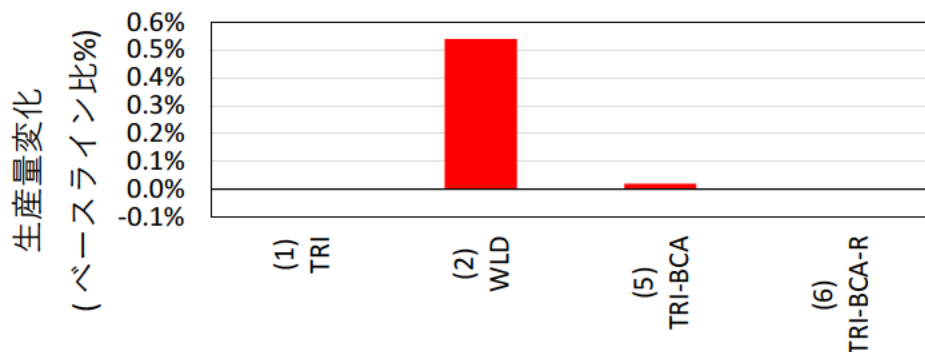


注：輸出量と輸入量の地域は輸出先と輸出元をそれぞれ表す。

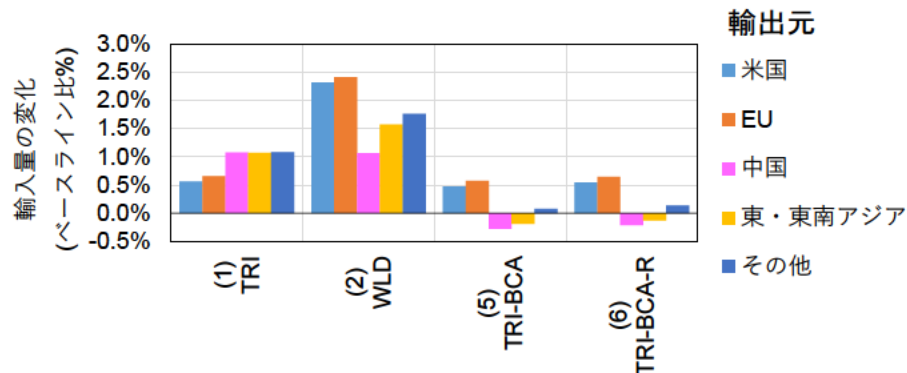
日本の輸出量の変化



日本の生産量の変化



日本の輸入量の変化



注) 窯業土石非金属部門は、セメント、ガラス、陶器等が含まれ、複合的な効果となっており、解釈に注意されたい。