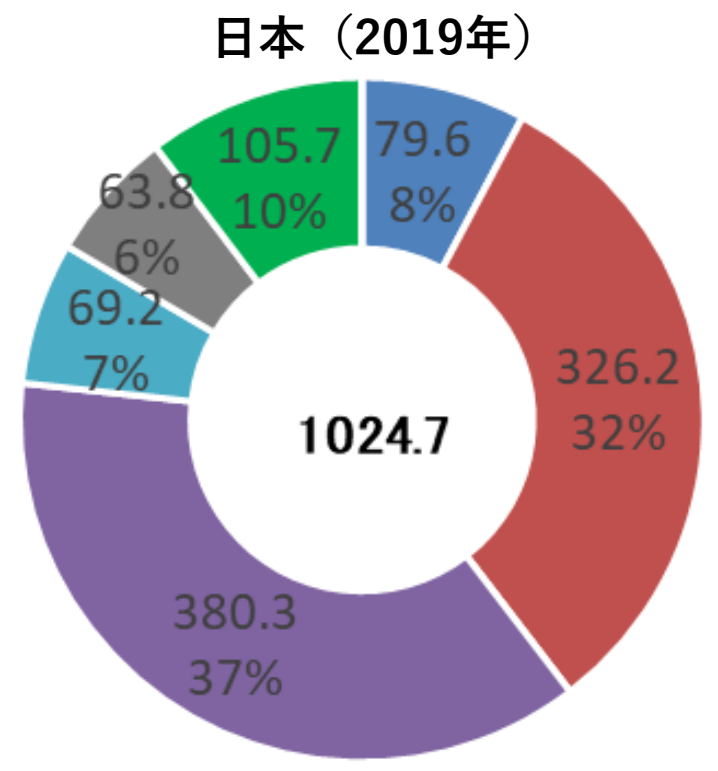
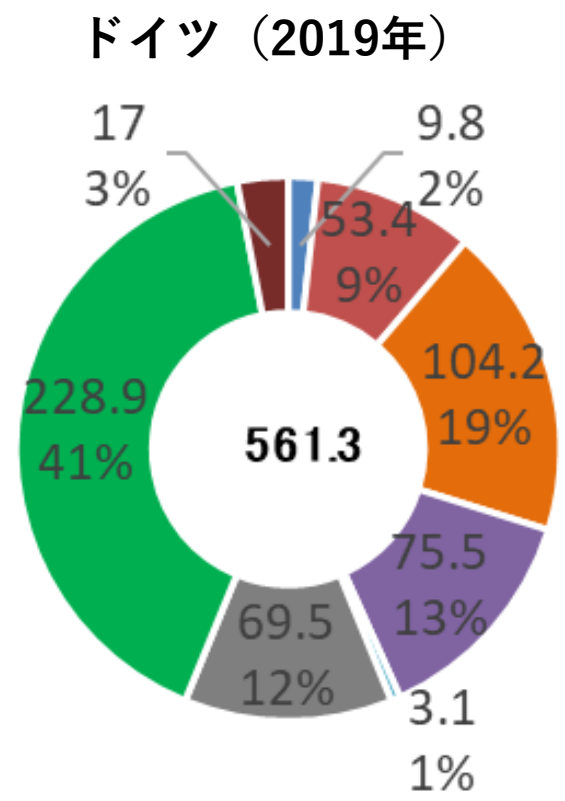


ドイツにおける石炭フェーズアウト政策 (電力部門の低炭素化)

230424 再エネ講座公開研究会
尚絅学院大学 東愛子

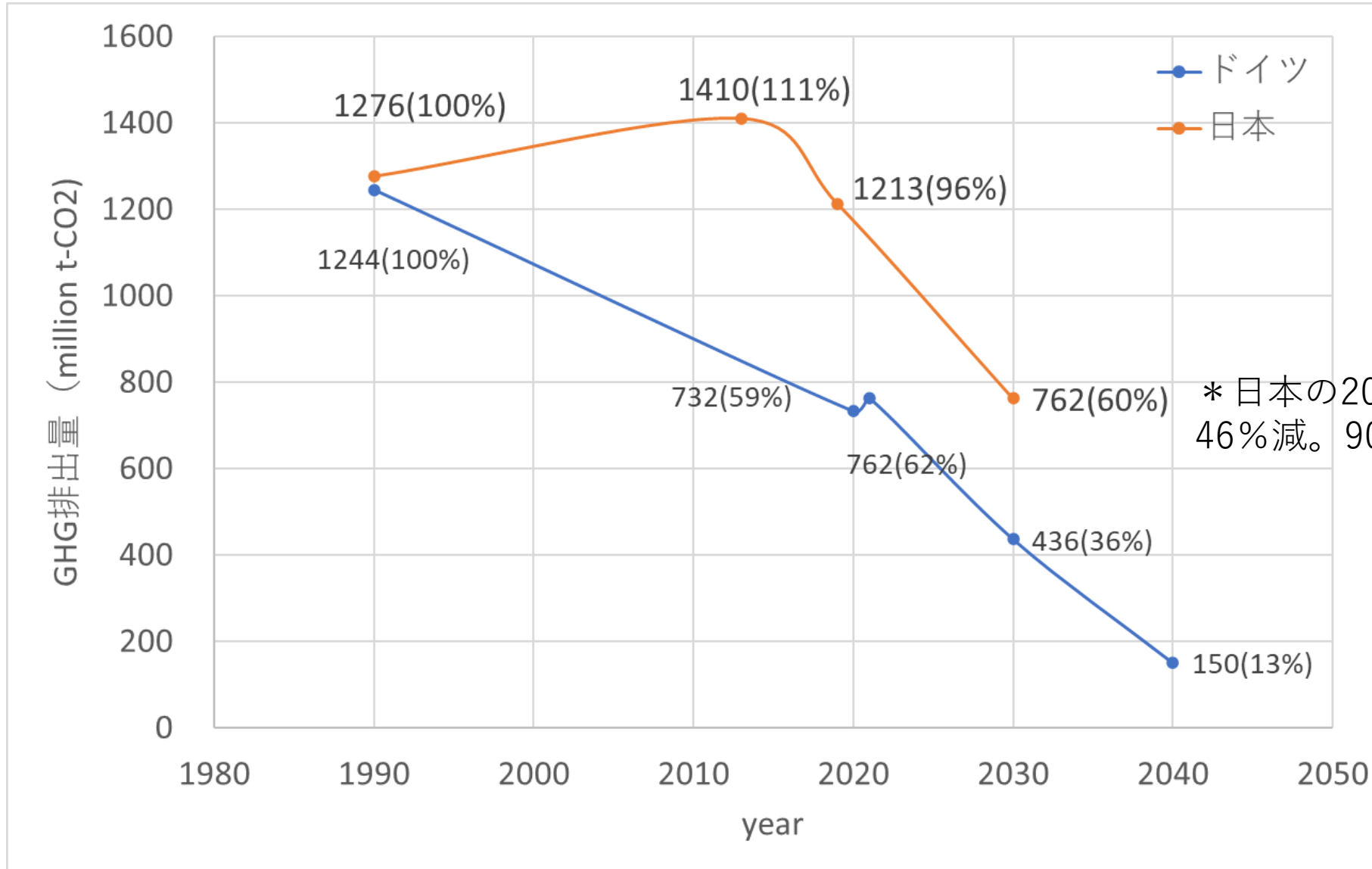
発電電力量（日独比較, 単位：TWh（10億kWh））



(Cf) 発電部門の排出量内訳
 ドイツ：褐炭54%、石炭22%、ガス12%
 日本：石炭57%、ガス33%、石油9%

- 水力
- 石炭
- 褐炭
- LNG
- 石油等
- 原子力
- 新エネ等
- その他非再エネ

GHG削減目標（日独比較）



* 日本の2030年目標は13年比46%減。90年比換算値。

(出所)

ドイツ削減目標：UNFCCC（2022）“Update to the long-term strategy for climate action of the Federal Republic of Germany”

日本排出目標：地球温暖化対策計画（令和3年10月22日閣議決定）より作成。

石炭削減政策の経緯 (Brauers(2018), Oei(2020), Pahle(2010), UNFCCC (2022)より作成)

| year | 気候変動目標 | 内容 | 備考 (石炭・褐炭に関して) | 国際的動き |
|-----------|---------------------------------------|---|---|--|
| 2007 | Integrated Energy and Climate Program | 90年比40%減 by 2020 | 石炭褐炭のフェーズアウト議論はなし、石炭・褐炭のCCSとの組み合わせ。 | |
| 2014 | Climate Action Program 2020 | 電力セクター2200万tCO ₂ 減by 2020 | →2015: Climate Contribution 提案 (発電事業者に炭素税のような追加的負担を要求)、実現せず。 | |
| 2016 | Climate Action Plan 2050 | | →2016 Coal Reserveの導入決定 | 2015パリ合意 |
| 2017 | | | | 2017 COP23@ボンで、イギリスやカナダなど20の国と地域が石炭消費の終了を誓約 |
| 2018 | | | →Coal Commission: 石炭委員会立ち上げ。石炭フェーズアウトの政策 (資金メカニズム含む)、影響を受ける地域の産業構造転換を進める政策。 | |
| 2017 | | | | 2017 COP23@ボンで、イギリスやカナダなど20の国と地域が石炭消費の終了を誓約 |
| 2019 | Climate Action Act | GHG neutral by 2045 | | EU: GHG削減目標40% by 2030 →55% by 2030に引き上げると発表「Fit for 55」→EU-ETSの年間排出枠引き下げ |
| | | 削減パスの設定: at least 65% by 2030、at least 88% by | | |
| | | エネルギーセクターは1080万tCO ₂ by2030 | | |
| 2020.8.14 | | | 石炭火力削減法 (The act to reduce and end coal-fired power generation ; KVBG) →2038年までの石炭・褐炭フェーズアウトパスの決定 | |

ドイツ：セクター別のGHG削減目標

| Annual emission volume in millions of tonnes of CO ₂ -equivalent | 2020 | 2021 | 2022 | 2023 | 2024 | 2025 | 2026 | 2027 | 2028 | 2029 | 2030 |
|---|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Energy sector | 280 | | 257 | | | | | | | | 108 |
| Industry | 186 | 182 | 177 | 172 | 165 | 157 | 149 | 140 | 132 | 125 | 118 |
| Buildings | 118 | 113 | 108 | 102 | 97 | 92 | 87 | 82 | 77 | 72 | 67 |
| Transport | 150 | 145 | 139 | 134 | 128 | 123 | 117 | 112 | 105 | 96 | 85 |
| Agriculture | 70 | 68 | 67 | 66 | 65 | 63 | 62 | 61 | 59 | 57 | 56 |
| Waste management and others | 9 | 9 | 8 | 8 | 7 | 7 | 6 | 6 | 5 | 5 | 4 |

(出所) [UNFCCC \(2022\) "Update to the long-term strategy for climate action of the Federal Republic of Germany"](#)

日本のセクター別排出削減目標

(単位：百万 t-CO₂)

| | 2013年度実績 | 2019年度実績 (2013年度比) | 2030年度の目標・目安 ²¹ (2013年度比) |
|---------------------------|--|-------------------------------|---|
| 温室効果ガス排出量・吸収量 | 1,408 | 1,166 ²² (▲17%) | 760 (▲46% ²³) |
| エネルギー起源二酸化炭素 | 1,235 | 1,029 (▲17%) | 677 (▲45%) |
| 産業部門 | 463 | 384 (▲17%) | 289 (▲38%) |
| 業務その他部門 | 238 | 193 (▲19%) | 116 (▲51%) |
| 家庭部門 | 208 | 159 (▲23%) | 70 (▲66%) |
| 運輸部門 | 224 | 206 (▲8%) | 146 (▲35%) |
| エネルギー転換部門 ²⁴ | 106 | 89.3 (▲16%) | 56 (▲47%) |
| 非エネルギー起源二酸化炭素 | 82.3 | 79.2 (▲4%) | 70.0 (▲15%) |
| メタン (CH ₄) | 30.0 | 28.4 (▲5%) | 26.7 (▲11%) |
| 一酸化二窒素 (N ₂ O) | 21.4 | 19.8 (▲8%) | 17.8 (▲17%) |
| 代替フロン等4ガス ²⁵ | 39.1 | 55.4 (+42%) | 21.8 (▲44%) |
| ハイドロフルオロカーボン (HFCs) | 32.1 | 49.7 (+55%) | 14.5 (▲55%) |
| パーフルオロカーボン (PFCs) | 3.3 | 3.4 (+4%) | 4.2 (+26%) |
| 六ふっ化硫黄 (SF ₆) | 2.1 | 2.0 (▲4%) | 2.7 (+27%) |
| 三ふっ化窒素 (NF ₃) | 1.6 | 0.26 (▲84%) | 0.5 (▲70%) |
| 温室効果ガス吸収源 | — | ▲45.9 | ▲47.7 |
| 二国間クレジット制度 (JCM) | 官民連携で2030年度までの累積で、1億 t-CO ₂ 程度の国際的な排出削減・吸収量を目指す。我が国として獲得したクレジットを我が国のNDC達成のために適切にカウントする。 | | |

間接排出ベース

電力分野の排出原単位低減のため、

- 火力発電依存度の低減
- エネ高度化法（エネ供給事業者の供給量の44%を非化石由来 by2030）
- 非効率石炭の撤退（USC（超々臨界）並みの発電効率(43%)をベンチマーク）
- 炭素貯蔵
- 水素・アンモニア混焼推進

ドイツにおける石炭火力フェーズアウト策

【政策1】 直接的に石炭火力による電力供給を禁止する政策

KVBG (Coal Power Generation Reduction and Termination Law : 石炭火力発電削減法)

【政策2】 石炭CHPプラントの燃料転換を促す政策

KWKG (Law for the maintenance, modernization and expansion of combined heat and power generation : CHP法)

【政策3】 炭素価格付け

【政策1】 直接的に石炭火力による電力供給を禁止する政策 (KVBG)

石炭・褐炭の削減政策 1

KVBG (Coal Power Generation Reduction and Termination Law : 石炭火力発電削減法)

① 褐炭火力のCoal reserve

- 一部の褐炭火力を2016年から市場より取り置く。
- 4年待機後、2020年より順次閉鎖。

2018 **Coal Commission** : 石炭委員会立ち上げ。石炭フェーズアウトの政策（資金メカニズム含む）、影響を受ける地域の産業構造転換を進める政策提言→**KVBG制定**

② Coal reserve以外の褐炭火力の2038年までの閉鎖

- どの発電所をいつ閉鎖するかKVBG appendix2に規定
- 2038年までに閉鎖

③ 石炭削減オークション

- 自主的削減を進めるため、削減目標量に対するリバースオークション

発電容量推移

| | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 | 2021.11 |
|---------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|---------|
| Nuclear power | 12.1 | 10.8 | 10.8 | 10.8 | 9.5 | 9.5 | 8.1 | |
| Lignite | 21.1 | 21.4 | 21.3 | 21.1 | 20.9 | 20.9 | 20.6 | |
| Hard coal | 26.2 | 28.7 | 27.4 | 24.0 | 23.8 | 22.7 | 23.8 | |
| Natural gas | 29.0 | 28.4 | 29.7 | 29.8 | 30.1 | 30.1 | 31.7 | |
| Mineral oil products | 4.2 | 4.2 | 4.6 | 4.4 | 4.4 | 4.4 | 4.8 | |
| Pumped storage | 9.2 | 9.4 | 9.5 | 9.5 | 9.8 | 9.8 | 9.8 | |
| Waste (non-renewable) | 0.9 | 0.9 | 0.9 | 0.9 | 0.9 | 0.9 | 1.0 | |
| Other energy sources (non-renewable) | 3.4 | 3.4 | 3.5 | 3.5 | 3.5 | 3.7 | 3.6 | |
| Total of non-renewable energy sources | 106.1 | 107.1 | 107.6 | 104.0 | 103.1 | 102.0 | 103.3 | |
| Renewable energy sources | 90.3 | 97.7 | 104.2 | 111.6 | 118.2 | 124.4 | 130.6 | |
| Total | 196.4 | 204.9 | 211.8 | 215.6 | 221.3 | 226.4 | 233.8 | |
| 非RE | 106.1 | 107.2 | 107.6 | 104.0 | 103.1 | 102.0 | 103.2 | 98.7 |
| (市場外に取り置かれている容量) | | | | | | | | 10.4 |

出所：BNetzA（2022）より抜粋、一部筆者加筆。

石炭褐炭削減政策①褐炭の市場からの取り置き: Coal reserve

| 発電所名 | 出力 (MW) | security stanby statusに入る時期 | 最終閉鎖 |
|----------------|------------|--------------------------------|------------|
| Buschhaus | 400 | 01.10.2016 | 30.09.2020 |
| Frimmersdorf P | 300 | 01.10.2017 | 30.09.2021 |
| Frimmersdorf Q | 300 | 01.10.2017 | 30.09.2021 |
| Niederaußem F | 299 | 01.10.2018 | 30.09.2022 |
| Niederaußem E | 295 | 01.10.2018 | 30.09.2022 |
| Jänschwalde F | 465 | 01.10.2018 | 30.09.2022 |
| Jänschwalde E | 465 | 01.10.2019 | 30.09.2023 |
| Neurath C | 292 | 01.10.2019 | 30.09.2023 |
| 計 | 2816 | | |

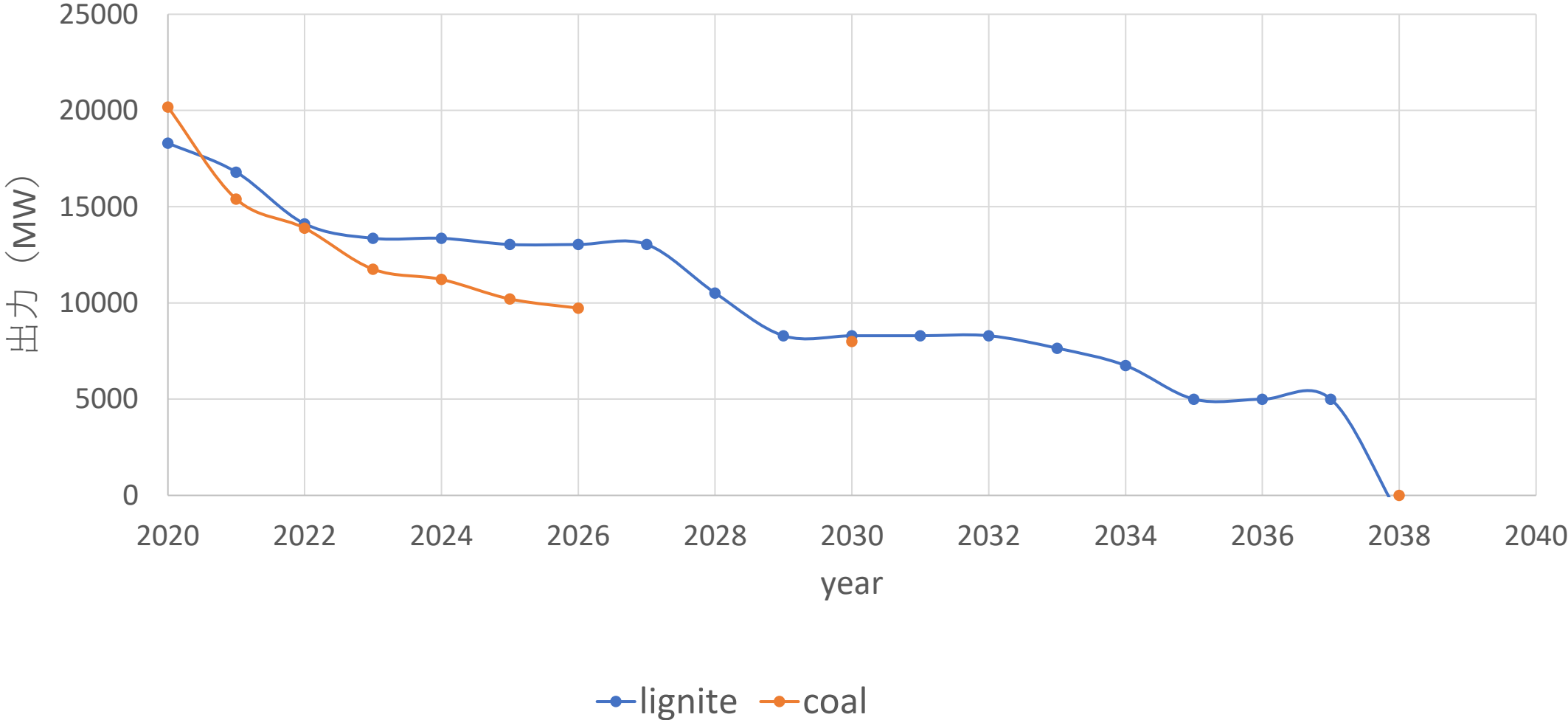
出所：BNetzA（2022）、BMW（2019）より抜粋、一部筆者加筆。

- 1億6000万ユーロの支払い, Brauers(2018)

②その他褐炭火力の2038年までの閉鎖

| year | 閉鎖量 | |
|------|-----------------------|-------------------|
| | lignite(coal reserve) | lignite(閉鎖スケジュール) |
| | MW | MW |
| 2020 | 400 | 297 |
| 2021 | 600 | 910 |
| 2022 | 1059 | 1625 |
| 2023 | 757 | 0 |
| 2024 | | 0 |
| 2025 | | 321 |
| 2026 | | 0 |
| 2027 | | 0 |
| 2028 | | 2523 |
| 2029 | | 2221 |
| 2030 | | 0 |
| 2031 | | 0 |
| 2032 | | 0 |
| 2033 | | 648 |
| 2034 | | 900 |
| 2035 | | 1750 |
| 2036 | | 0 |
| 2037 | | 0 |
| 2038 | | 6061 |
| 計 | 2816 | 17256 |

KVBGに基づく石炭・褐炭フェーズアウトパス



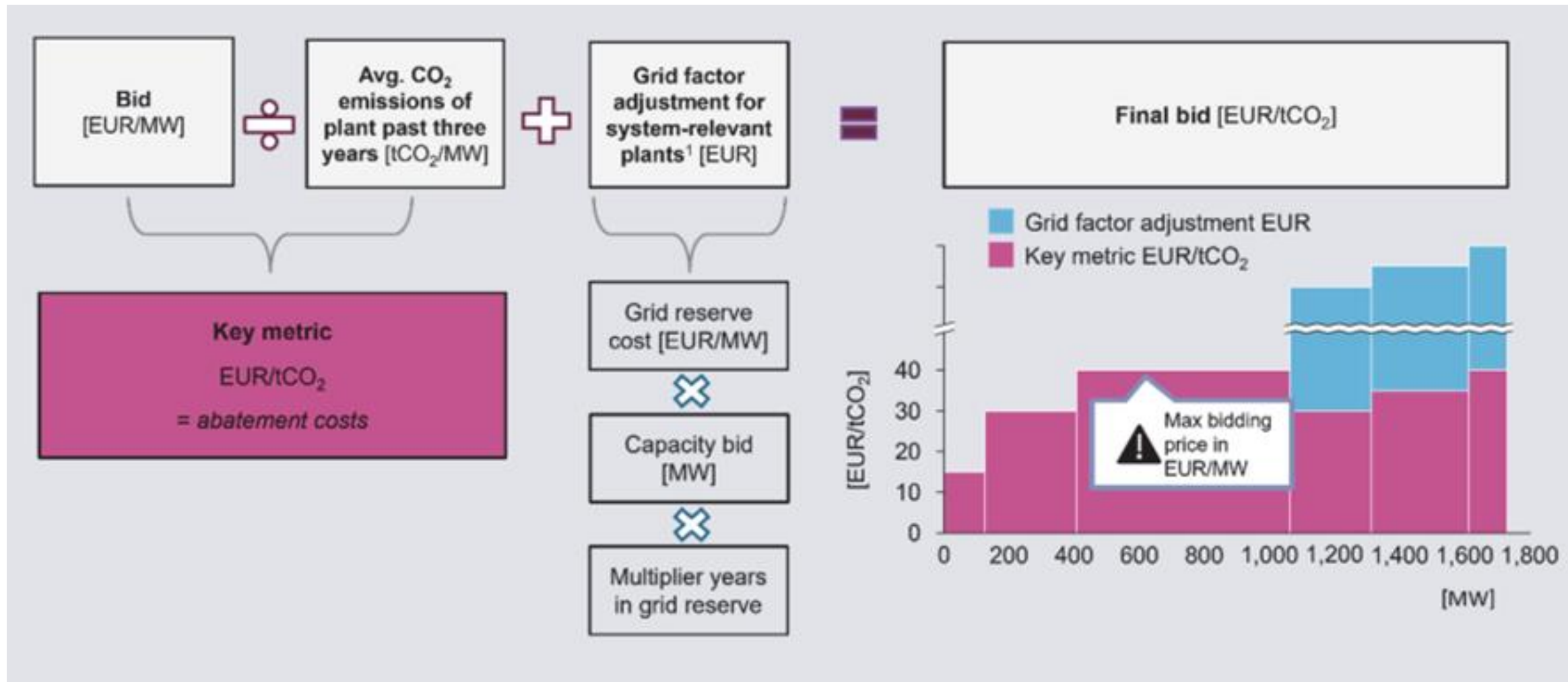
③石炭削減オークション

- i. オークション概要
- ii. オークション量の決定プロセス
- iii. ランキング付け
- iv. 入札量がオークション量に達しない場合の措置 (statutory close)
- v. オークション結果

③オークション概要

- 石炭火力や150MW未満の小規模褐炭発電所の自主的削減を促す。
- 削減目標量に対するリバースオークション（売り手が入札）
- 事業者は（A）平均容量価格（EUR/MW）と、（B）平均年間排出量（tCO₂/MW）の情報を提出。
- オークションでは平均削減費用（A/B）の安い順に落札。
- 落札された発電所は、入札した容量価格を受け取る（pay as bid方式）
- 2024年まで7回のオークション予定。オークション後は、石炭褐炭削減目標に合わせて強制閉鎖。閉鎖に当たって財政的支援行われず。
- 落札された発電所は石炭を使ったエネ供給が禁止される。（燃料転換すればサイトを継続して使うことが可能）

③排出削減コストに基づくランキング付け



(出所) Agora(2022)より抜粋

事業者は (A) 平均容量価格 (EUR/MW) と、(B) 平均年間排出量 (tCO₂/MW) の情報を提出。オークションでは平均削減費用 (A/B)の安い順に落札。効率がよく発電時間の長い (排出量の多い) 発電所が落札されやすい。

③ (v) 石炭削減オークション結果

| | 入札切 | target year | オークション容量 | 上限価格 | | grid factor | 入札数 | 落札容量 | 最低入札額 | 最高入札額 |
|-----|------------|-------------|-----------|---------|-------|-------------|-----|-----------|--------|---------|
| | | | MW | €/MW | 万円/MW | €/MW | | MW | €/MW | €/MW |
| 第1回 | 01.09.2020 | 2020 | 4000.000 | 165,000 | 2310 | - | 11 | 4787.676 | 6,047 | 150,000 |
| 第2回 | 4.1.2021 | 2021 | 1500.000 | 155,000 | 2170 | 118,898.47 | 3 | 1514.000 | 0 | 59,000 |
| 第3回 | 30.4.2021 | 2022 | 2480.826 | 155,000 | 2170 | 105,736.17 | 11 | 2132.682 | 0 | 155,000 |
| 第4回 | 1.10.2021 | 2023 | 433.016 | 116,000 | 1624 | 93,482.19 | 3 | 532.514 | 45,000 | 116,000 |
| 第5回 | 1.3.2022 | 2024 | 1222.886 | 107,000 | 1498 | 84,789.51 | 6 | 1015.604 | 0 | 107,000 |
| 第6回 | 1.8.2022 | 2025 | 698.882 | 98,000 | 1372 | 71,879.56 | 1 | 472.000 | | 98,000 |
| 第7回 | 1.6.2023 | | 実施せず | 89,000 | 1246 | | | | | |
| | | | 10335.610 | | | | | 10454.476 | | 17 |

③ (v) 石炭削減オークションの主要結果

- 第6回までのオークションで10.326GWの石炭火力発電所が落札。これはオークション開始前（2020年時点）の石炭容量23.5GWの44%。
- 10.3GWのうち、第1回（2020年9月1日実施）のオークションで落札された発電所は、2021年に廃止。第2回（2021年1月）実施のオークション分で、Uniperの757MWの発電所も閉鎖されている。
- それ以外の第2回以降の発電所に関しては、2024年3月31日まで暫定的に市場に復帰中（ガス供給ひっ迫のため）。
- 第1回オークションで、VattenfallやRWEの非常に新しい（運転年数6～7年）の発電所がオークションに参加。Agora（2022）によれば、ステークホルダーの石炭フェーズアウトの力が働いたとのこと。
- その結果、オークション後の発電所年齢構成が、オークション前とあまり変わらず、古い発電所が市場に残ってしまっている。
- →第7回オークションを実施せずstatutory closeのみの理由（？）

③ (v) 落札発電所サイトの今後の利用形態

| | | 出力 (MW) | 比率 |
|-------------|---------------------------------------|---------|-----|
| 現況 | 熱電併給 | 6109 | 58% |
| 今後の利 用形態 | gas燃転 | 4410 | 42% |
| | バイオマス燃転 | 885 | 8% |
| | 熱供給 | 2031 | 19% |
| | グリッドリザーブ・ capacity reserve | 435 | 4% |
| | 水素・蓄電池・power to gas・セクターカップリン グ | 3491 | 33% |
| | その他産業利用 | 3084 | 30% |
| | 商業利用 | 725 | 7% |
| | 未定 | 757 | 7% |
| | 閉鎖 | 1555 | 15% |

(出所) 筆者作成：オークション入札情報に基づく

【政策2】 石炭CHPプラントの燃料転換を促す政策

石炭CHPプラントの燃料転換を促す政策（KWKG：CHP法）

| | | Coal replacement bonus: One-time payment in EUR/kW | | | | | | |
|----------------|-----------|--|------|------|------|------|------|------|
| | | ボーナス額(EUR/kW) | | | | | | |
| 新規プラントの運開年 | | 2022 | 2023 | 2024 | 2025 | 2026 | 2027 | 2028 |
| 既存プラントの 運開年 | 1975-1984 | 20 | 15 | 10 | 5 | | | |
| | 1985-1994 | 225 | 210 | 195 | 180 | 165 | 150 | 135 |
| | 1995- | 390 | 365 | 340 | 315 | 290 | 265 | 240 |

*KVBGの石炭削減オークションにおける上限価格は第1回（2020年）が165€/kW, 第2回第3回（2021年）が155€/kW。

- CHPプラントの発電に対して価格上乘せ。
- 2017年12月～上乘せ額をオークションで決定（max：7ct/kWh）
- さらに、石炭・褐炭CHPを他燃料のCHPに建て替えた場合、石炭ボーナスを受け取れる。（石炭削減オークションと両方参加することは不可。）
- →石炭削減オークションよりも有利な条件であり、石炭フェーズアウトを加速させる中心項目と位置付け。

ドイツにみる電力部門の低炭素化政策（まとめ）

- 目標年と目標量が法律に記載されている。
- 飴（燃料転換を早期に促す財政支援政策）と鞭（燃料転換を行わなければ強制閉鎖）の組み合わせによって、確実に量を達成できるようにコントロール。
- EU-ETSで炭素の価格付けが行われている中で、強制的な石炭フェーズアウト策の必要性、今後のEU-ETSのEUA量のコントロール等は残された課題。

参考文献

- Agora (2022) “Coal Phase-Out in Germany the role of coal exit auction” https://static.agora-energiawende.de/fileadmin/Projekte/2021/2021_12_INT_Hard_Coal_Auction/A-EW_261_Hard-Coal-Auction_WEB.pdf.
- BMU (2021) “Structural change in coal regions as a process of economic and social-ecological transition – Lessons learnt from structural change processes in Germany”, https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/2022-01-04_cc_33-2021_lessons_larnt_from_structural_change_processes.pdf.
- BMWi(2019) “Commission on growth structural change and employment; Final report”, https://www.bmwk.de/Redaktion/EN/Publikationen/commission-on-growth-structural-change-and-employment.pdf?__blob=publicationFile&v=3
- BNetzA (2021) “MonitoringReport2021”, https://www.bundesnetzagentur.de/SharedDocs/Downloads/EN/Areas/ElectricityGas/CollectionCompanySpecificData/Monitoring/MonitoringReport2021.pdf?__blob=publicationFile&v=2
- Hanna Brauers, Philipp Herpich, Christian von Hirschhausen, Ingmar Jürgens, Karsten Neuhoff, Pao-Yu Oei, Jörn Richstein (2018) “Coal transition in Germany - Learning from past transitions to build phase-out pathways”, IDDRi and Climate Strategies, https://www.iddri.org/sites/default/files/PDF/Publications/Catalogue%20iddri/Rapport/20180609_ReportCOAL_Germany.pdf.
- Pao-Yu Oei, Hauke Hermann, Philipp Herpich, Oliver Holtemöller, Benjamin Lünenbürger, Christoph Schult (2020) “Coal phase-out in Germany e Implications and policies for affected regions” Energy, vol 196, 117004.
- UNFCCC (2022) “Update to the long-term strategy for climate action of the Federal Republic of Germany” https://unfccc.int/sites/default/files/resource/Anlage%202_Update%20to%20the%20long-term%20strategy%20for%20climate%20action%20of%20the%20Federal%20Republic%20of%20Germany_02Nov2022_0.pdf.