

ウクライナ侵略における石炭を通じた
多層的なエネルギー供給がエネルギー安全保障に
与えた影響分析調査
報告書

令和 7 年 3 月

株式会社 NTT データ

目次

1. 背景・事業の全体像.....	3
1-1. 本事業の背景と目的.....	3
1-2. 事業内容.....	3
1-3. 事業の全体像.....	3
2. ウクライナ侵略発生時の欧州のサプライチェーン切り替えにおける、エネルギー源多角化、とりわけ石炭がエネルギー安全保障達成に与えた役割分析.....	4
2-1. ウクライナ侵略時における石炭火力発電の位置付け.....	6
2-1-0. 要旨.....	6
2-1-0-1. 先行調査.....	6
2-1-1. ウクライナ侵略時のヨーロッパ化石燃料サプライチェーンの切り替え状況.....	8
2-1-1-1. 化石燃料輸入量の推移.....	9
2-1-1-2. ガス製品在庫水準の推移.....	16
2-1-1-3. 小括.....	19
2-1-2. ウクライナ侵略時のヨーロッパの電力構成の状況.....	20
2-1-3. エネルギー供給の突発的な不足時の石炭電力による補填の説明.....	26
2-1-3-1. エネルギー余力の観点からの石炭火力発電の意義.....	26
2-1-3-2. 電力価格の観点からの石炭火力発電の意義.....	28
2-1-4. 小括と今後の検討課題.....	29
2-2. ウクライナ侵略時に電源構成に影響を及ぼす有事が発生した場合のシミュレーション.....	30
2-2-1. シミュレーション方法.....	30
2-2-1-1. 過去の有事事例.....	30
2-2-1-2. 発電量余力のシミュレーションモデル.....	31
2-2-2. シミュレーション結果と今後の検討課題.....	34
2-3. 2030年の電力需給予測を踏まえた石炭火力発電からのフェーズアウトの可能性.....	36
2-3-1. シミュレーションモデル（EUの2030年における電力需給予測方法）.....	36
2-3-2. シミュレーション結果と今後の検討課題.....	38
2-4. 本章のまとめと今後の検討課題.....	41
● Appendix.....	43
■ 参考情報一覧.....	52

1. 背景・事業の全体像

1-1. 本事業の背景と目的

本事業は、ウクライナ侵略に伴うサプライチェーン切り替えにおいて、エネルギー安全保障の観点から、エネルギー源多角化の要素が重要な役割を果たしたか否かを明らかにするための事業である。とりわけ、地政学的に資源が偏在せず、貯蔵が容易で安価な石炭が、同切り替えにおけるエネルギー安全保障上の観点で果たした役割を正確に評価することに主眼を置いている。

このため、各種データを用いる定量的な分析のモデルを提示すること、分析を行うこと、分析の結果から導くことが可能な将来のエネルギー安全保障における石炭の位置づけを提言することを目標として欧州を対象に事業を実施した。

1-2. 事業内容

ウクライナ侵略に伴うサプライチェーン切り替えにおいて、エネルギー安全保障の観点から、エネルギー源多角化の要素が重要な役割を果たしたか否かを明らかにするため、地政学的に資源が偏在せず、貯蔵が容易で安価な石炭が、同切り替えにおけるエネルギー安全保障上の観点で果たした役割を、ウクライナ侵略発生時の欧州のサプライチェーン切り替えにおける、エネルギー源多角化、とりわけ石炭がエネルギー安全保障達成に与えた分析を通して評価する。

1-3. 事業の全体像

本事業では、定量的な分析にて「ウクライナ侵略における、エネルギー安全保障を達成するためのエネルギー源多角化の重要性」を明らかにすべく、ウクライナ侵略時において石炭が果たした役割を正確に評価し、トランジションにおいても石炭を含む多様なエネルギー源が必須であるかどうかを明らかにする。本結果を以て、石炭の安定・低廉な調達のエネルギーセキュリティにおける位置づけを評価する。

2. ウクライナ侵略発生時の欧州のサプライチェーン切り替えにおける、エネルギー源多角化、とりわけ石炭がエネルギー安全保障達成に与えた役割分析

本章では、ウクライナ侵略発生時の欧州のサプライチェーン切り替えにおける、エネルギー源多角化、とりわけ石炭がエネルギー安全保障達成に与えた役割を明らかにすべく、欧州を対象に以下3点の分析を実施した。

分析1(対応項目2-1.)の結果について、まず、欧州において最も電力需要が大きい時期は冬期(11月～3月)であること、そして、2021年から2022年にかけての冬期は過去10年間に於いて8番目に電力需要が多く、かつ、同1番目に天然ガス在庫量が少ない冬であったことを統計データから確認した。

次に、天然ガス資源のサプライチェーン切り替えについて、切り替えが発生した時期は、侵略から3ヶ月が経過した、最需要期である冬期が過ぎた2022年の春(5月)以降であり、冬期を含む同期間において何らかの需要が急増した場合は、在庫逼迫リスクが発生する可能性があることが統計データから確認できた。ただし、実際には最も在庫が低くなる4月末時点では過去から2番目に低い値であり、また、1ヶ月分の在庫を有しており、その後供給が急増して例年より低いレベルであった天然ガス資源の蓄積水準を年末までに回復したことが統計上確認できた。天然ガス資源¹の供給手段については、気体供給の「天然ガス」と液体供給の「LNG」の2種類があるが、「天然ガス」についてはアルジェリア、チュニジア、トルコ、アルバニア、セルビア、ウクライナ、ベラルーシを含む、「LNG」はアルジェリア、カタール、アンゴラを含む、それぞれ調達源の多角化によって対前年比増を達成した。

一方、石炭のサプライチェーン切り替えについては、ウクライナ侵略直後の2022年3月からコロンビア及びカザフスタンからの輸入急増を皮切りに、南アフリカなどの輸入増が続いたことで同年8月にはロシア炭からのフェーズアウトを完了させた。加えて、採掘地に隣接する火力発電所で消費する「褐炭」については、EUでの褐炭消費量が2022年は前年比6パーセント増を達成した。

エネルギーの安定供給の観点では、2022年2月のウクライナ侵略発生時において、再生可能エネルギー発電の構成比が前月比で減少(特に洋上風力発電(6.8%減))しており、同減少分に対して負荷配分可能な電源である天然ガス火力発電(1.5%増)、石炭火力発電(褐炭/亜炭)(2.2%増)及び石炭火力発電(硬質炭)(2.1%増)が稼働率を上げて、当該供給不足を補っていたことが統計データから確認できた。

¹ 今回の調査の「天然ガス資源」の定義は「天然ガス」と「LNG」のみとし、石炭ガスや非在来型のシェールガスなど、その他ガス資源は含まず検討している。

エネルギーの低廉な供給の観点では、ウクライナ侵略によるサプライチェーンの切り替えによって、世界的な化石燃料価格の高騰が発生した。しかしながら、2022 年を通じて、天然ガス火力発電より石炭火力発電は低廉であったことから、石炭火力発電の稼働は、対天然ガス火力発電の点でみれば、有事の際の物価高騰の抑制に貢献したことが示唆された。

負荷配分可能な発電のエネルギー源に分類される石炭及び天然ガスについて、石炭が天然ガスとの対比で有用性を発揮するかどうかについて、分析 2(対応項目 2-2.)では、過去に発生した天然ガス火力発電の稼働減といった有事を仮定すると、再生可能エネルギー発電だけでは、電力需要を賄えず、その結果、石炭火力発電なしには安定供給が達成できない可能性が示唆された。

同じく、分析 3(対応項目 2-3.)では、今回の活動で扱ったデータの制約という留意点はあるものの、2030 年の電力需給予測からは特定の期間の需要超過が見込まれるが、石炭以外のエネルギーの余力を活用してもなお、電力不足を賄うことができず、石炭火力発電などの機動性の高い電源に頼る必要があることが示唆された。

なお、上記 3 点に関する分析項目・検証観点は、下記のセクションにて対応している。

#	対応項目	分析項目	検証観点
1	2-1.	ウクライナ侵略時における石炭火力発電の位置付け	2022 年のウクライナ侵略時、ヨーロッパにおいて、負荷配分可能な電源のエネルギー源である天然ガス及び石炭が果たした役割及び天然ガスの代替として機能如何。
2	2-2.	ウクライナ侵略時に電源構成に影響を及ぼす有事が同時に発生した場合のシミュレーション	2022 年のウクライナ侵略時、ヨーロッパにおいて、各電力の発電にネガティブな変動を及ぼす事象が同時に発生したと仮定したとき、石炭火力発電は有力な電源といえたか。
3	2-3.	EU2030 年の電力需給予測に基づき、石炭フェーズアウトの実現可能性の検証	EU2030 年の月間電力需要量および発電量の予測を行い、同年に石炭火力発電が存在しない場合の電力需要と供給の差を分析。石炭以外のエネルギー源による供給余力が、供給不足が発生した場合にその不足分を補完できるか。

2-1. ウクライナ侵略時における石炭火力発電の位置付け

2-1-0. 要旨

本項では、2022 年のウクライナ侵略時、ヨーロッパにおいての石炭の役割について、天然ガスとの比較を含む定量的な分析や政策の変更の変遷を辿り分析を行った。

本分析の結果、分析の結果、分析 1(対応項目 2-1.)では、欧州において最も電力需要が大きき時期は冬期であること、そして、2021 年から 2022 年にかけての冬期は過去 10 年間に於いて 8 番目に電力需要が多く、かつ、同 1 番目に天然ガス在庫量が少ない冬であったことが統計データから確認できた。

2022 年 2 月のウクライナ侵略発生時において、再生可能エネルギー 発電の構成比が前月比で減少しており、同減少分に対して石炭火力発電が稼働率を上げて、当該供給不足を補っていたことが統計データから確認できた。

天然ガス資源のサプライチェーン切り替えについて、最需要期である冬期が過ぎた 2022 年の春(5 月)以降、供給が急増して例年より低いレベルであった天然ガス資源の蓄積水準を年末までに回復したことが統計上確認できた。天然ガス資源の供給手段については、気体供給の「天然ガス」と液体供給の「LNG」の 2 種類があるが、「天然ガス」についてはアルジェリア、チュニジア、トルコ、アルバニア、セルビア、ウクライナ、ベラルーシを含む、「LNG」はアルジェリア、カタール、アンゴラを含む、それぞれ調達源の多角化によって対前年比増を達成した。

石炭のサプライチェーン切り替えについては、ウクライナ侵略直後の 2022 年 3 月からコロンビア及びカザフスタンの輸入急増を皮切りに、南アフリカなどの輸入増が続いたことで同年 8 月にはロシア炭からのフェーズアウトを完了させた。加えて、採掘地に隣接する火力発電所で消費する「褐炭」については、EU での褐炭消費量が 2022 年は前年比 6 パーセント増を達成した。

エネルギーの低廉な供給の観点では、ウクライナ侵略によるサプライチェーン切り替えによって、世界的な化石燃料価格の高騰が発生した。しかしながら、2022 年を通じて、天然ガス火力発電より石炭火力発電は低廉であったことから、石炭火力の稼働は、対天然ガス火力発電の点で見れば、有事の際の物価高騰の抑制に貢献したことが示唆された。

2-1-0-1. 先行調査

本節に関連する先行調査の位置づけにおいては、以下の点について指摘がされている。まず、エネルギー・金属鉱物資源機構(JOGMEC)の報告書²によると、欧州がロシアからの

² 天然ガス・LNG 最新動向 ―2023 年世界の LNG 貿易実績および中長期 LNG 価格イメージと LNG 調

パイプラインガス輸入量の減少を補うため、世界中から液化天然ガス（LNG）を大量に調達したことが述べられているが、天然ガス・LNGを対象としたレポートであり石炭利用の増加については特に言及されていない。次に、三菱 UFJ リサーチ&コンサルティングの報告書³によると、EU がロシア産化石燃料の利用を段階的に取り止める方針を決定し、石炭については 2022 年 8 月より禁輸措置が発効されたことが述べられている。これにより、石炭の供給源が多様化されたものの、天然ガス不足を石炭で補ったかどうかについての具体的な分析は示されていない。最後に、みずほリサーチ&テクノロジーズの報告書⁴によると、ウクライナ侵略を巡るロシアと EU の対立により、欧州のガス価格が高騰したことが述べられている。また、ロシアがガス供給を一段と減らした場合には、石炭火力発電による代替を本格化する可能性が示唆されているが、実際に石炭がどの程度代替として機能したかについての具体的な分析は示されていない。以上のように、各調査では主に天然ガス供給の減少に対する対応策として LNG の調達や再生可能エネルギーの導入が取り上げられているが、石炭が具体的にどの程度機能したかについての詳細な分析は行われていないのが現状である。

加えて、中央電力研究所のディスカッションペーパー⁵においては、「石炭火力発電の「復活」的動き」と「脱炭素とのトレードオフ」についての側面から指摘がされている。前者については、ウクライナ侵略によるロシアからのガス供給不安を背景に、一部の欧州諸国（特にドイツや英国）では、石炭火力発電の「再稼働」や「廃止延期」が選択肢として検討されたことが報告されており、これは「天然ガスに代わる短期的な電力供給手段」として石炭が現実的に再評価された証左とされているとともに、エネルギー安全保障を優先する形で石炭火力発電の利用が「容認」される状況があったと分析されている。その一方で、後者において、石炭の使用拡大は脱炭素目標と逆行するため、各国は「一時的措置」として限定的に利用しようとするスタンスを取っているとも述べられており、欧州委員会の「リパワー EU」計画も引用され、「再エネと省エネで脱ロシアを進めるが、短期的には石炭の活用も避けられない」といった二面性が浮き彫りにされている。本ディスカッションのまとめとして、石炭は中長期的なエネルギー戦略の中心には戻らないものの、「短期的な天然ガス代替手段」として明確に機能した側面があるという含みを持った記述となっており、統計的な定量分析（例：石炭火力発電量の増加幅など）は含まれていないが、政策的・戦略的な文脈で石炭の役割が再評価されたことを指摘している。

達戦略・欧州ガス政策へのインプリケーションー

<https://oilgas->

[info.jogmec.go.jp/_res/projects/default_project/_page/_001/010/005/2401_c_00_eu_implication_r.pdf](https://oilgas-info.jogmec.go.jp/_res/projects/default_project/_page/_001/010/005/2401_c_00_eu_implication_r.pdf)

³ EU における化石燃料の「脱ロシア化」の進捗状況 https://www.murc.jp/wp-content/uploads/2023/02/report_230208_01.pdf

⁴ 欧州ガス高は 2023 年も継続

<https://www.mizuho-rt.co.jp/publication/2022/pdf/express-mk220815.pdf>

⁵ ロシアによるウクライナ侵略を踏まえた西側諸国のエネルギーを巡る対応 <https://criepi.denken.or.jp/jp/serc/research/files/156/pdf/22003dp.pdf>

以上のような先行調査を踏まえ、本節においては、2022 年のウクライナ侵略時のヨーロッパにおける化石燃料サプライチェーンの切り替え時において、石炭がエネルギー安定供給においてどのように機能したか、地政学的な背景を踏まえたうえで定量分析を交えながらその可能性を調査していく。

2-1-1. ウクライナ侵略時のヨーロッパ化石燃料サプライチェーンの切り替え状況

ロシアによるウクライナ侵略は 2022 年 2 月 24 日のロシア軍によるウクライナの首都キエフや他の重要都市に対する大規模な攻撃に端を発する。本侵略を受けて、国際社会は、金融制裁、貿易制裁、個人制裁、企業の撤退、国際機関からの除外など、様々な制裁を採用し、特にエネルギー資源に関する制裁については、ヨーロッパ諸国がロシアからの天然ガス・石炭の輸入量の減少・完全停止の措置を取った。その結果、欧州の天然ガス供給構造には大きな変化が生じた。特に、代替供給源としてアフリカ・中東・東欧からの輸入が拡大し、新たなエネルギー供給ルートが構築されたと考える。本項では、オープンデータである Eurostat などで公開されているデータを基にして、ウクライナ侵略時（2022 年 2 月）の前後を含めた期間を観察したときにエネルギーのサプライチェーンが時系列的にどのように変遷しているのかということ为主要エネルギーごとにデータから考察する。

データからの考察を受けて、天然ガス資源のサプライチェーン切り替えについては、年単位で見た場合は、「EU はロシア産の化石燃料の輸入量を削減する一方で、他国からの輸入を拡大し、供給網の切り替えと多角化戦略を推進してきた結果、EU の戦略は成功し、安定した供給が確保された。EU のガス在庫水準は一定のサイクルで維持されており、2022 年のロシアへの経済制裁があったものの、代替調達先の確保が進んでいたため、在庫の逼迫まで使い切るような状況には至っていない。」といった見方ができるかも知れない。

しかしながら、月単位で見た場合、天然ガス資源のサプライチェーンの切り替えが発生した時期は、侵略から 3 ヶ月が経過した、最需要期である冬期が過ぎた 2022 年の春（5 月）以降、供給が急増して例年より低いレベルであった天然ガス資源の蓄積水準を年末までに回復したことが統計上確認できた。2022 年の春（5 月）以降であり、つまり、最需要期である冬期においては切り替えることが出来ず、また、3 ヶ月程度の時間を要したことが何らかのリスクであった可能性があり、もし仮に、冬期を含む同期間中に何らかの需要が急増した場合は、在庫逼迫リスクが発生する可能性があることが統計データから確認できた。

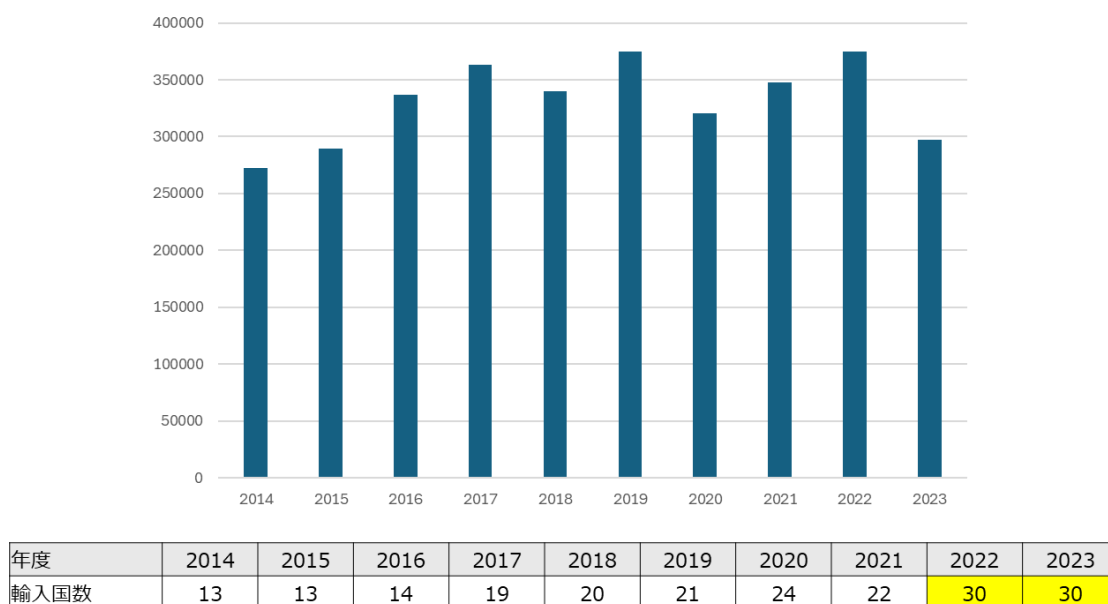
他方、石炭のサプライチェーン切り替えについては、ウクライナ侵略直後の 2022 年 3 月からコロンビア及びカザフスタンからの輸入急増を皮切りに、南アフリカ炭などの輸入増大が続いたことで同年 8 月にはロシア炭からのフェーズアウトを完了させた。加えて、採掘地に隣接する火力発電所で消費する「褐炭」発電の発電量については EU 全体では 2022 年は前年比 6 パーセント増を達成した。つまり、石炭に関しては、最需要期である冬期から切り替えが発生して切り替えが急増し、6 ヶ月後には切り替えが完了したほか、域内資源を

活用する褐炭発電による発電量の増加も見られた。これらのことから、世界的に資源が賦存し、調達に係る地政学リスクが低い特性を有する、石炭が持つエネルギー安定供給上の特性が如実に表れたことを示したと言える。

2-1-1-1. 化石燃料輸入量の推移

まず、次頁に掲載の図表 2-1-1-1 は、Eurostat のデータをもとに、2014 年から 2023 年のヨーロッパにおける天然ガスの輸入量と輸入先国数を示したものである。棒グラフが各年の EU の天然ガスの輸入量を示しており、棒グラフの下部の表は、各年の輸入国数を示している。ここから、ウクライナ侵略が起こった 2022 年の天然ガス輸入量は 2021 年から増加し、過去 10 年で 2 番目に高い水準となった。また 2022 年以降、天然ガスの輸入先国数が増加していることから、年単位で見た場合は、一見すると、ウクライナ侵略を契機に輸入先の多角化戦略が成功裏に進んだと評価することも可能である。

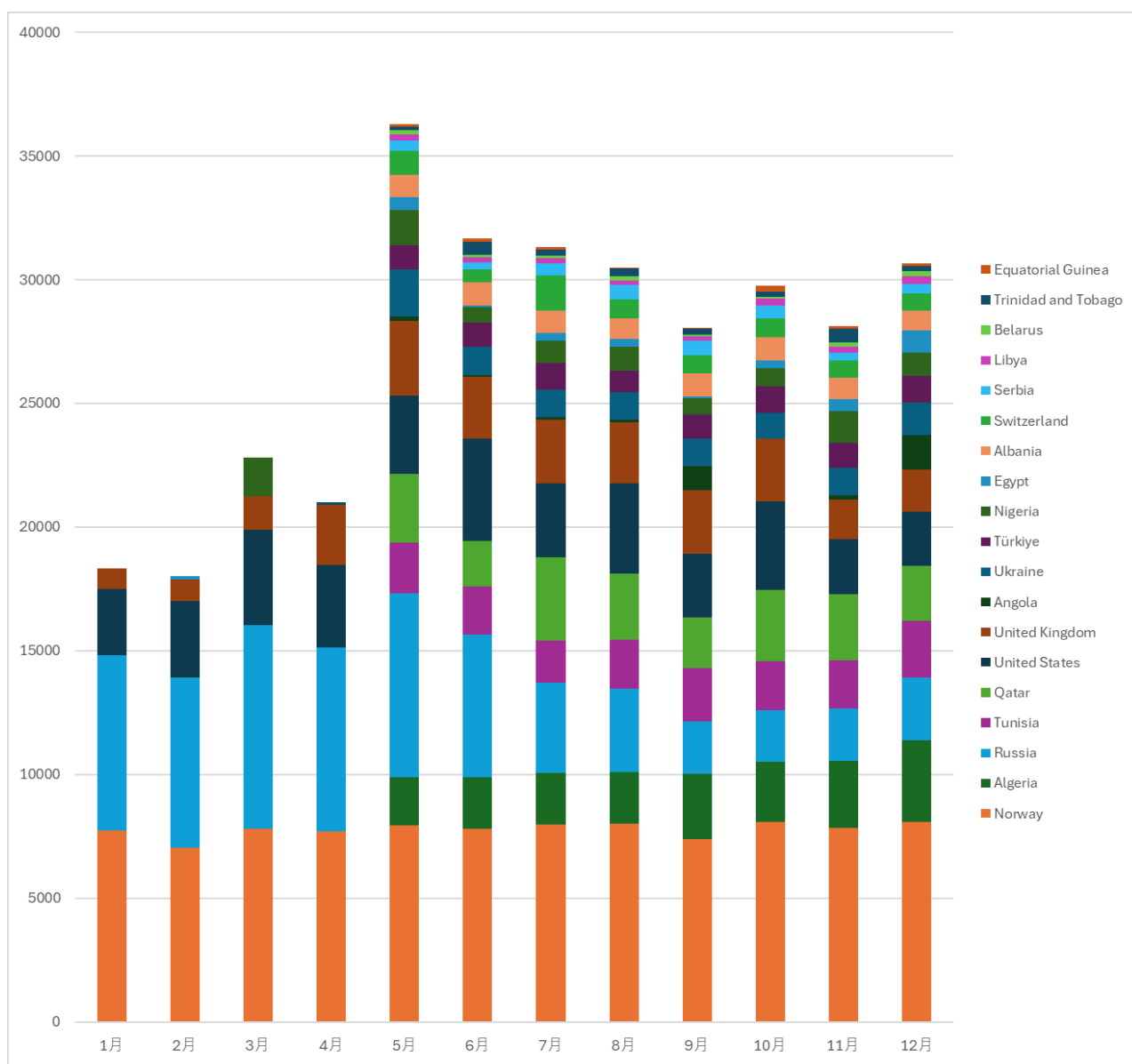
図表 2-1-1-1. 2014～2023 年の EU での天然ガス輸入量と輸入先国数
(単位：Million cubic metres)



(Eurostat : [Imports of natural gas by partner country](#) より NTTD 作成。EU 加盟 27 か国の総計値)

次頁に掲載の図表 2-1-1-2 は 2022 年のヨーロッパにおける天然ガスの輸入量と輸入国を示したものである。棒グラフが月ごとの輸入量を示しており、輸入元の国ごとに色分けして表示している。図表 2-1-1-2 からわかるように、2022 年 5 月以降、ヨーロッパはアルジェリアやチュニジアといった北アフリカ諸国やカタールなどの中東、トルコ、アルバニア、セルビア、ウクライナ、ベラルーシ等の東欧からの天然ガス輸入を本格化させた。これは、ヨーロッパ各国がロシア産ガスの供給リスクを低減するために、既存のパイプラインを活用しながら供給先を多様化させた結果としての動きと考えられる。ここで注目すべき点は、多角化による切り替えが数値として把握することが出来る時期は、欧州にとっての電力最需要期である冬期を過ぎた 2022 年 5 月以降であるという点である。後述する図表 2-1-1-7 (2014～2023 年のガス製品在庫水準の推移) にあるとおり、2021 年から 2022 年の冬にかけてのガス製品在庫水準は過去 10 年間で最も低かったが、当該時点においては切り替えが発生しなかった点である。この点、図表 2-1-1-6 (2021～2024 年のヨーロッパにおける一般炭の輸入量と輸入国) において石炭は 2022 年 3 月からコロンビア及びカザフスタン由来の石炭輸入が急増していることと対照的である。

図表 2-1-1-2. 2022 年のヨーロッパにおける天然ガス輸入量と輸入国
(単位：Million cubic metres) ⁶

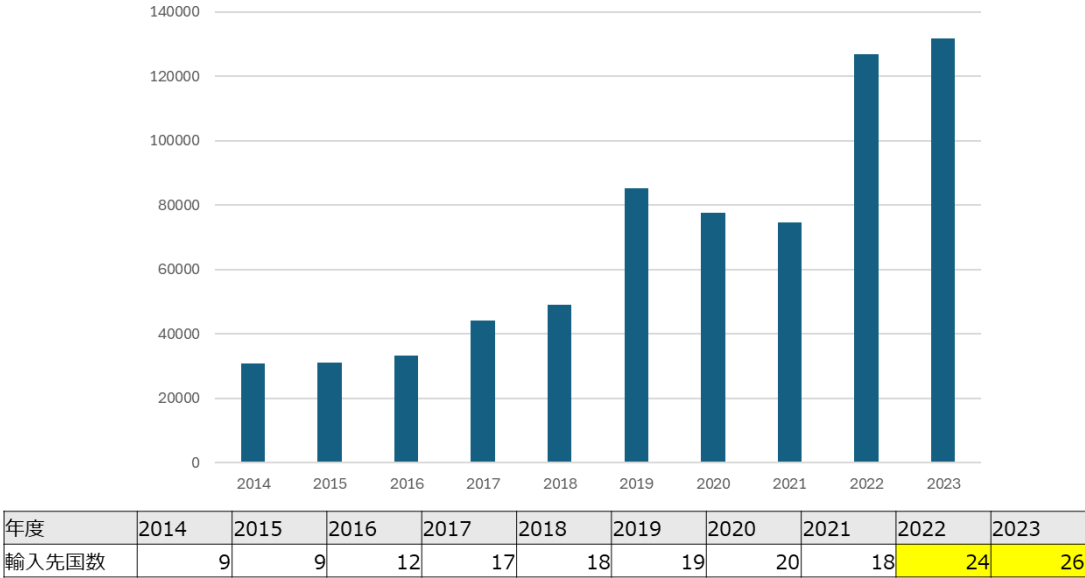


(Eurostat ; [Imports of natural gas by partner country - monthly data](#) より NTTD 作成。EU 加盟 27 か国の総計値)

⁶ 2022 年ヨーロッパの天然ガス輸入量と輸入国の詳細データは Appendix の図表 1 を参照。

図表 2-1-1-3 は、Eurostat のデータをもとに、2014 年から 2023 年のヨーロッパにおける LNG の輸入量と輸入先国数を示したものである。棒グラフが各年の EU の LNG の輸入量を示しており、棒グラフの下部の表は、各年の輸入国数を示している。ここでは、2022 年の LNG の輸入量は 2021 年と比べ、1.5 倍と急増しており、2023 年も高い輸入量となっていることが分かる。また、天然ガスと同じく、LNG の輸入国数も 2022 年に著しく増加しており、ロシア産天然ガスへの依存を低減するため、LNG の輸入を拡大する方針を取っていることが分かる。

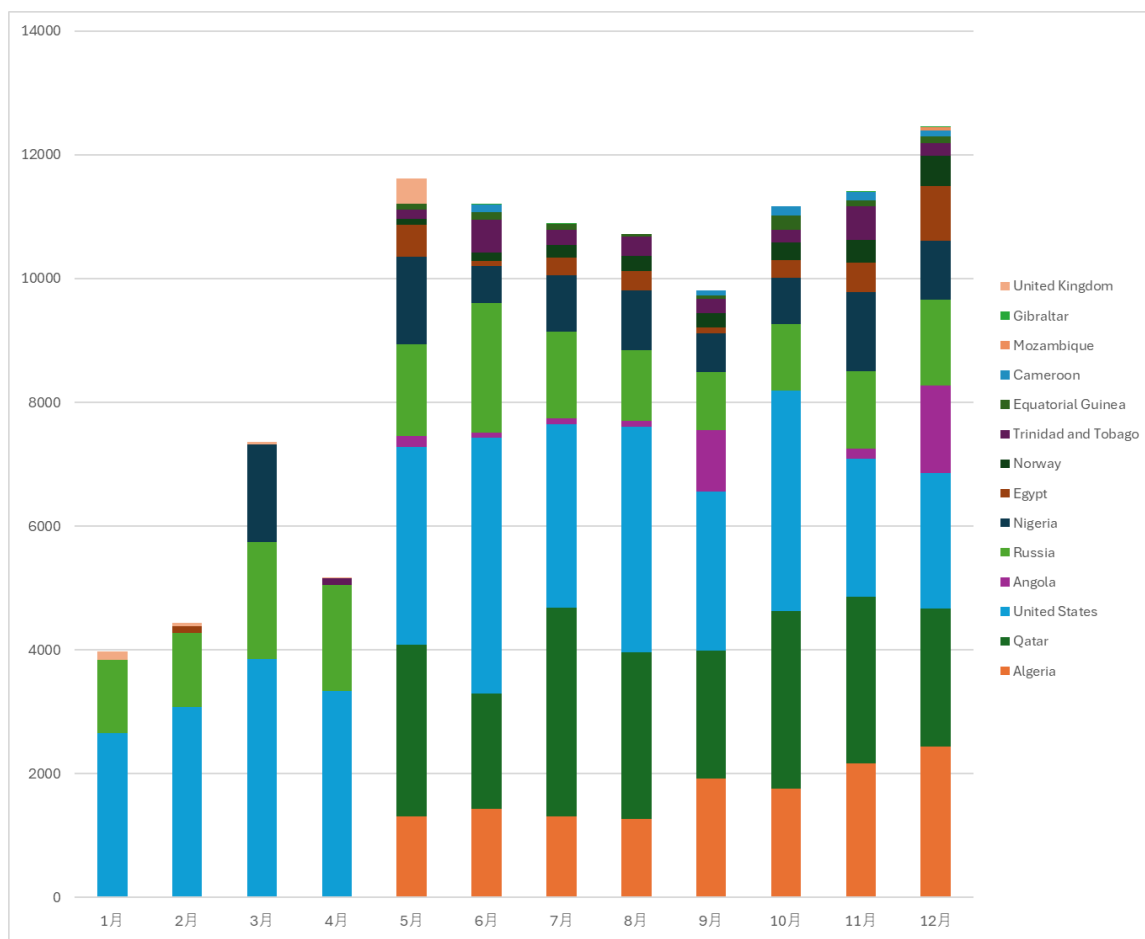
図表 2-1-1-3. 2014～2023 年の EU での LNG 輸入量と輸入先国数
(単位：Million cubic metres)



(Eurostat : [Imports of natural gas by partner country](#) より NTTD 作成。EU 加盟 27 各国の総計値)

図表 2-1-1-4 は、2022 年におけるヨーロッパの LNG の輸入量と輸入元の国をまとめたものである。棒グラフが月ごとの輸入量を示しており、輸入元の国ごとに色分けして表示している。図表 2-1-1-4 から、ロシアからのパイプライン供給が大幅に減少する中で、ヨーロッパは液化天然ガス（LNG）の輸入を増加させたことがわかる。天然ガスと同様、最需要期を脱した 2022 年 5 月からはアルジェリア、カタールといった国々からの LNG 輸入が急増し、年間を通して見た場合は、欧州のエネルギー供給の安定化に寄与していると評価することは可能であるが、ガス製品在庫量が過去 10 年間で最も低かった 2021 年—2022 年の冬期の間には切り替えが発生しなかった点は天然ガスと同様である。

図表 2-1-1-4. 2022 年のヨーロッパにおける LNG 輸入量と輸入国
(単位：Million cubic metres) ⁷

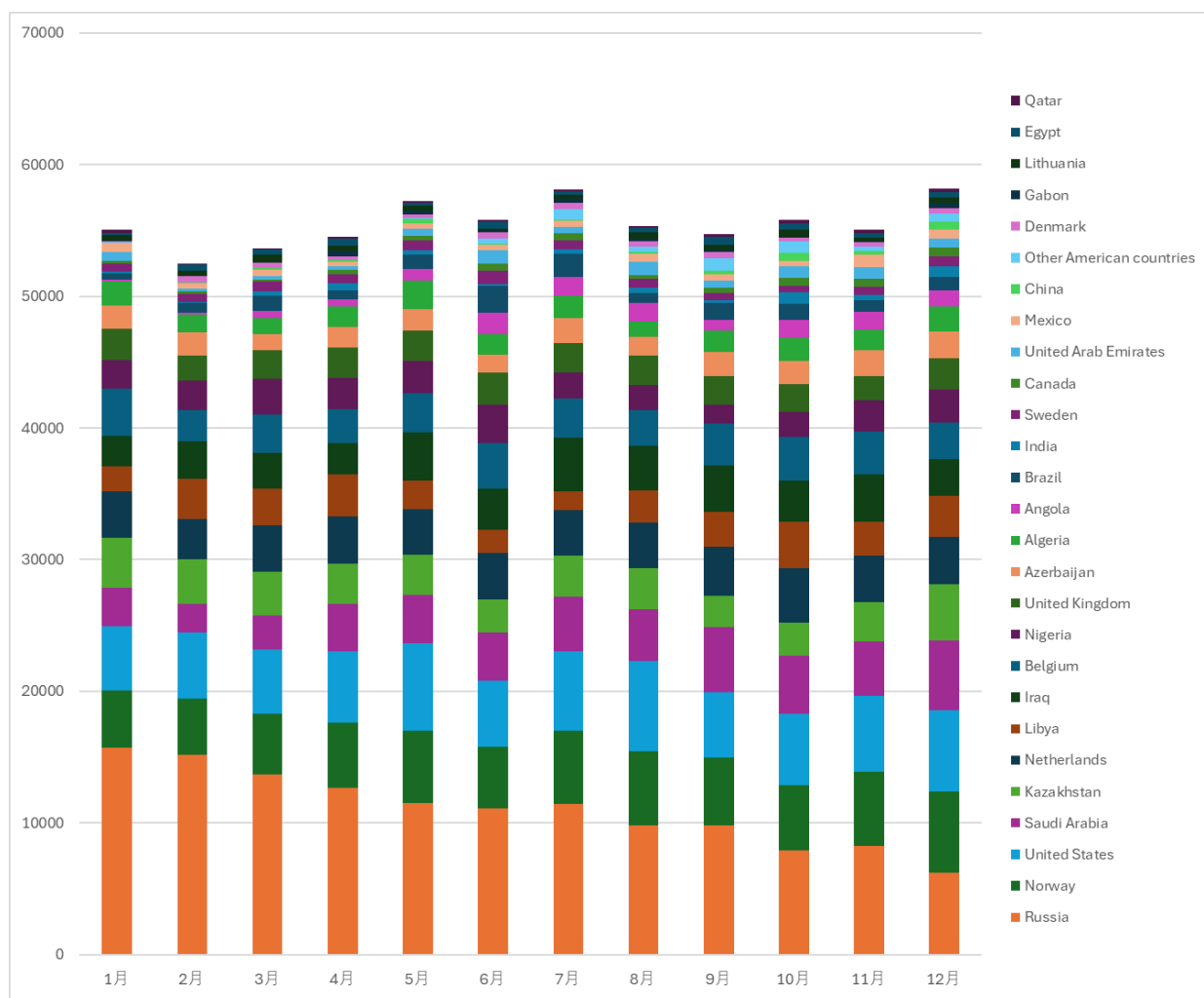


(Eurostat ; [Imports of natural gas by partner country - monthly data](#) より NTTD 作成。EU 加盟 27 か国の総計値)

⁷ 2022 年ヨーロッパ LNG 輸入量と輸入国の詳細データは Appendix の図表 2 を参照。

図 2-1-1-5 は 2022 年のヨーロッパにおける石油および石油製品の輸入量と輸入国を示したものである。棒グラフが月ごとの輸入量を示しており、輸入元の国ごとに色分けして表示している。図表 2-1-1-5 から、石油の輸入に関してもウクライナ侵略を契機として、ヨーロッパ諸国はロシア産石油の輸入を段階的に削減し、その代替供給源としてノルウェー、アメリカ、サウジアラビアなどの諸国からの輸入を拡大したことが見てとれる。この傾向は、エネルギー供給の多様化を図る戦略の一環と考えられる。

図表 2-1-1-5. 2022 年のヨーロッパにおける石油及び石油製品の輸入量と輸入国
(単位：Thousand tonnes) ⁸



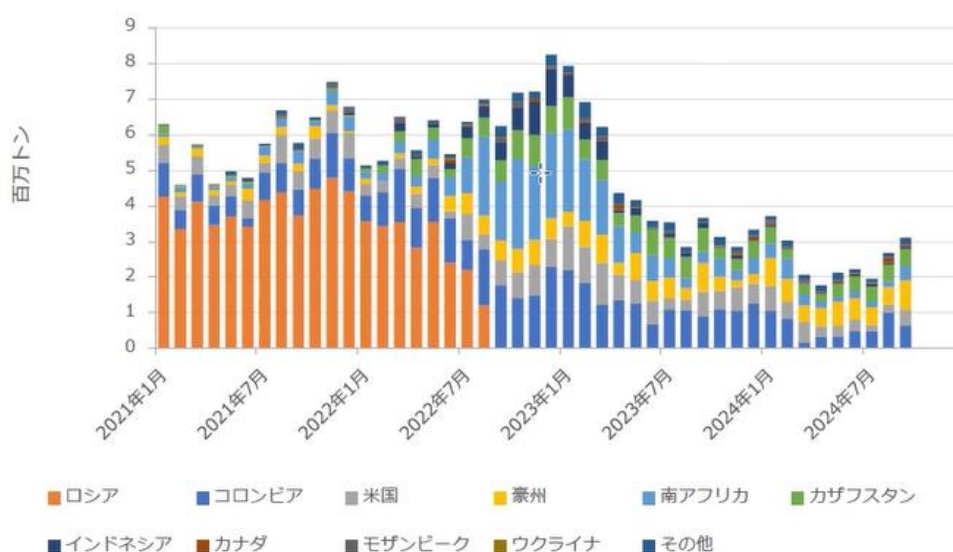
(Eurostat ; [Imports of oil and petroleum products by partner country - monthly data](#) より NTTD 作成。EU 加盟 27 か国の総計値)

⁸ 2022 年ヨーロッパの石油及び石油製品の輸入量と輸入国の詳細データは Appendix の図表 3 を参照。

図 2-1-1-6 はエネルギー・金属鉱物資源機構（JOGMEC）による調査から引用したもので、2021～2024 年のヨーロッパにおける一般炭の輸入量と輸入国を示したものである。棒グラフが月ごとの輸入量を示しており、輸入元の国ごとに色分けして表示している。図 2-1-1-6 によると、2022 年 3 月には早くもコロンビア及びカザフスタンからの輸入急増を皮切りに、南アフリカなどの輸入増が続いたことで同年 8 月にはロシア炭からのフェーズアウトを完了させた。このように、ガス同様にロシア依存度が高かった石炭であったが、侵略発生の翌月にはサプライチェーンの切り替えが数値上も明確に確認できたほか、6 ヶ月という極めて短期間で切り替えが完了した。これは、世界的に資源が賦存し、調達に係る地政学リスクが低い特性を有する、石炭が持つエネルギー安定供給上の特性が如実に表れたと言える。

また、電力需要の増加が見込まれる冬季に備え、2022 年後半から 2023 年初頭にかけて一般炭の輸入量が増加したことも確認される。

図表 2-1-1-6. 2021～2024 年のヨーロッパにおける一般炭の輸入量と輸入国
(単位：百万トン)



出所：Eurostat

(JOGMEC「石油需給及び価格動向(2024 年上半期)」より引用)

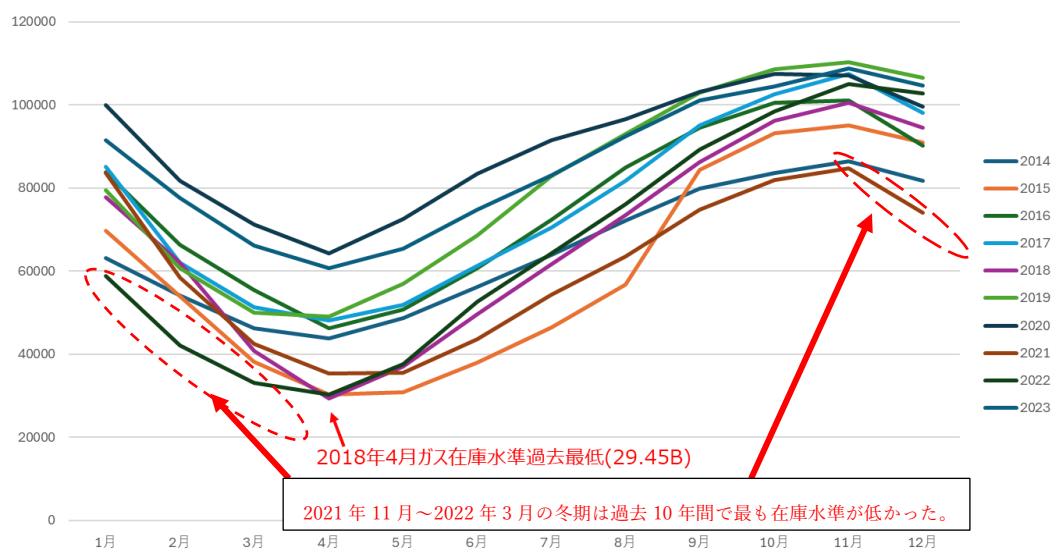
2-1-1-2. ガス製品在庫水準の推移

前項ではウクライナ侵略前後の各資源の輸入量に焦点をあてロシア依存型からの転換を示した。本項ではヨーロッパでのガス製品の在庫量を経年と 2022 年のウクライナ侵略前後で可視化し、その傾向から示唆を得る。

まず、図表 2-1-1-7 では Eurostat のデータをもとに特定年で固有の影響があるか確認をする目的で、EU27 か国の 2014 年から 2023 年のガスの各月での製品在庫水準推移を示した。過去 10 年のデータから、EU のガスの在庫は一定のサイクルで変動していることが分かる。4 月から 11 月は冬期に備えて、貯蓄施設へのガスの補充が進められ、11 月に備蓄のピークを迎えている。他方、12 月から翌年の 3 月の冬期には天然ガスの消費が進み、在庫が減少する傾向がみられる。なお在庫水準が毎年 4 月に各年の最低水準になっているのは、冬期の暖房需要のピークを過ぎた後であり、4 月以降には再び翌年の冬期に向けて在庫の補充がなされる。

注目すべき点は、2021 年から 2022 年の冬にかけてのガス製品在庫水準は過去 10 年間で最も低かったが、当該水準の状況でウクライナ侵略が発生したことである。

図表 2-1-1-7. 2014～2023 年のガス製品在庫水準の推移
(単位：Million cubic metres)



(Eurostat : [Stock levels for gas products - monthly data](#) より NTTD 作成。EU 加盟 27 か国の総計値)

他方、図表 2-1-1-8 では、先述した在庫量の消費傾向の確認を目的に、2014 年から 2023 年の各月のガスの消費量の推移を示した。なお濃い赤が消費量の多い月である。図表 2-1-1-7 と合わせてみると、ガスの安定供給ができていたことが分かる。まず過去 10 年間のガス消費量から見ると、5 月のガスの消費量はいずれの年も 2018 年 4 月のガス在庫水準の 294.5 億立方メートルを超えていない。つまり、4 月末にガスは最低在庫水準になるが、仮に 5 月の輸入が大幅に減少しても、在庫分のみで 5 月の 1 か月分ほどの需要を賄える。次に、ガス需要が最も高まる冬期に焦点を当てると、図表 2-1-1-7 より、2021 年 12 月末の在庫が例年一番少なく、741.5 億立方メートルとなる。ただ、図表 2-1-1-8 よりガスの 1 月の消費量はいずれの年も 741.5 億立方メートルを超えていないため、仮に 1 月の輸入が著しく減ったとしても、在庫分のみで 1 か月の在庫を賄うことができる。

図表 2-1-1-8. 2014～2023 年のガス消費量の推移
(単位：Million cubic metres)

	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
2014	43973	36923	33213	23650	23109	19515	20940	18760	21673	26775	36207	43339
2015	46654	43019	38030	27785	21881	19699	20420	18686	21884	30731	34854	39969
2016	49452	40542	37144	27397	22563	19642	20368	19785	22428	32399	42439	49117
2017	57614	41960	36525	30538	24944	21984	23253	21382	24733	30382	42987	48634
2018	46049	49385	45130	26250	22037	21387	21424	21299	23394	30178	41014	44136
2019	55411	43326	39097	30438	27721	21404	24802	22216	25319	31986	40931	45391
2020	50872	41768	39746	25349	23645	22408	24150	22612	25070	32428	40411	48445
2021	54283	44712	43256	36014	26727	21959	21603	20012	22870	30374	42397	49108
2022	50263	40325	39770	29386	21736	20185	20504	18363	20692	23281	30940	40930
2023	41333	37532	34215	26711	20261	18322	18840	17967	19456	23354	33178	39314

(Eurostat : [Stock levels for gas products - monthly data](#) より NTTD 作成。EU 加盟 27 各国の総計値)

しかしながら、図表 2-1-1-9.にて、2022 年実際のガス在庫量を基準として、仮に 2022 年 1 月～4 月のガス消費量は過去 10 年間の各月の最大消費量となる場合、2022 年 4 月末までの在庫量の試算を行った。その結果、在庫が逼迫する計算となる (19.8 億立方メートル)。加えて、仮に 2022 年 1 月～4 月のガス輸入量が著しく減少した場合、在庫量が尽きる可能性もある。ただし、そのような消費が発生する場合は輸入を増加させることが合理的判断となるところ、当該要素は検証していない。尤も、ウクライナ侵略が発生してからガスの輸入急増まで 3 ヶ月を要したことは改めて注目に値する。

したがって、本分析の期間においてヨーロッパでは、現実的には、ガスの在庫が一定量確保され、安定供給なされていたことが分かるものの、2021 年 11 月から 2022 年 3 月の冬期の在庫水準の低さと、輸入急増までの 3 ヶ月間のタイムラグは一定程度のリスクがある水準だった可能性があることは本事業の分析の結果として指摘し得る。

図表 2-1-1-9.

2022 年 1 月から 4 月のガス消費量が各月最大の場合の 4 月末までの在庫量を試算
(単位 : Million cubic metres)

	1月	2月	3月	4月
過去10年ガス消費量最大値(①)	57614	49385	45130	36014
2022年実際のガス消費量(②)	50263	40325	39770	29386
最大値と2022年の差分(①-②)	7351	9060	5361	6628
1月～4月差分の合計(③ ; ①-②の合計)	28400			
2022年4月末実際在庫量(④)	30382			
在庫量の余分(④－③)	1982			

(Eurostat : [Imports of natural gas by partner country - monthly data](#) より NTTD 作成。EU 加盟 27 各国の総計値)

2-1-1-3. 小括

ここまで輸入量と資源在庫の分析からウクライナ侵略時のヨーロッパ化石燃料のサプライチェーンの切り替え状況について、エネルギー多角化の状況とガスの在庫量の分析進め、示唆を得た。

具体的には、年単位で見た場合は、2022 年のウクライナ侵略以降、EU はロシア産の化石燃料の輸入量を削減する一方で、他国からの輸入を拡大し、供給網の切り替えと多角化戦略を推進してきた結果、EU の戦略は成功し、安定した供給が確保されていると言えるかもしれない。また、過去 10 年間の実績から見た EU のガス在庫水準においては、各月において 1 ヶ月程度の在庫的余裕を保持していたと言える。

しかしながら、本分析の結果、天然ガス資源のサプライチェーンの切り替えは 2022 年の春（5 月）以降と、3 カ月のタイムラグがあったこと、例年よりも低いレベルでの備蓄水準であったことが統計的に確認できた。つまり、サプライチェーンの切り替え時の気象条件によっては、上手く輸入量を増加させることができず、調達上のリスクが発生する恐れもあったのではないかな。

他方、石炭のサプライチェーン切り替えについては、ウクライナ侵略直後の 2022 年 3 月からコロンビア及びカザフスタンの輸入急増を皮切りに、南アフリカなどの輸入増が続いたことで同年 8 月にはロシア炭からのフェーズアウトを完了させたことは特筆すべき点である。

なお、本状況の背景を補足説明するものとして 2022 年 5 月 18 日に発表された「リパワーEU」⁹政策があり、ロシア産のガスの依存度を下げるといった多角化への転換と、不測の事態に備えたガス貯蔵の管理の方針が、侵略から 3 ヶ月後に示されている。具体的に本政策のなかで、後者については、毎年 10 月 1 日までに EU 全域の地下ガス貯蔵を少なくとも 90%まで満たすことを義務付ける法案を 2022 年 3 月時点で宣言していることから、侵略発生時の危機的状況を踏まえて年単位での安定供給を目指し、これを達成したことが、データの変化の背景として裏図ける一助になると考えられる。

9 リパワーEU 政策の一部抜粋は European Commission プレスコーナーを引用。原文は参考情報一覧を参照。

2-1-2. ウクライナ侵略時のヨーロッパの電力構成の状況

図表 2-1-2-1 は、EU2022 年におけるエネルギー別発電量割合の前月差を示しており、石炭が他のエネルギー源の発電量減少を補完しているかを検証することを目的として、Fraunhofer ISE の Public net electricity generation in the European Union のデータから作成したものである。この図表によると、2022 年 2 月から 3 月にかけて天然ガスの発電割合は 1.5%増加しており、硬質炭及び褐炭/亜炭はそれぞれ同 2.1%、同 2.2%増加した。他方、同時期に洋上風力発電量は前月比で 6.8%減少しており、この減少分は、負荷配分可能 (dispatchable) な電源である天然ガス火力発電及び石炭火力発電(褐炭/亜炭および硬質炭)によって補完されていると考えることができる。

図表 2-1-2-1. EU の 2022 年におけるエネルギー別発電量割合の対前月比 (単位: %) ^{10 11}

エネルギー源	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
その他		0.3%	0.1%	0.2%	-0.3%	-0.2%	-0.3%	0.0%	0.0%	0.1%	0.0%	0.3%
その他の再生可能エネルギー		0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
バイオマス		0.1%	0.2%	0.2%	0.0%	-0.2%	-0.1%	0.1%	0.1%	-0.1%	-0.1%	-0.1%
化石燃料 (オイルシェール)		-0.1%	0.1%	-0.1%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.1%	0.0%	0.0%	0.0%
化石燃料 (褐炭/亜炭)		-0.9%	2.2%	-0.9%	0.3%	0.5%	-0.3%	0.7%	-0.4%	-0.3%	0.2%	-0.8%
化石燃料 (硬質炭)		-0.8%	2.1%	-2.0%	-0.8%	0.9%	0.4%	1.0%	0.7%	-2.2%	1.6%	1.1%
化石燃料 (石炭由来ガス)		0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.1%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
化石燃料 (石油)		-0.1%	0.0%	-0.1%	0.1%	-0.1%	0.0%	0.0%	0.2%	0.0%	-0.1%	0.0%
化石燃料 (泥炭)		0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	-0.1%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
化石燃料 (天然ガス)		-2.6%	1.5%	-4.0%	1.3%	2.5%	1.3%	0.3%	-1.5%	0.6%	-1.5%	1.0%
河川流れ込み式水力発電		-0.6%	0.0%	1.9%	1.6%	-1.1%	-1.5%	-0.6%	0.1%	0.2%	0.1%	0.4%
原子力		-0.8%	-0.8%	-0.5%	-1.4%	0.2%	-0.5%	0.6%	0.2%	-0.1%	0.2%	1.3%
太陽光発電		1.5%	2.2%	2.2%	2.7%	0.3%	-0.1%	-0.5%	-2.7%	-2.0%	-2.8%	-1.4%
地熱発電		0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
貯水式水力発電		-0.5%	0.4%	0.2%	0.3%	0.1%	-0.2%	0.0%	-0.2%	-0.7%	0.8%	0.6%
揚水式水力発電		-0.1%	0.2%	0.0%	0.0%	0.1%	0.0%	-0.1%	0.1%	0.1%	0.1%	0.2%
洋上風力発電		0.5%	-1.5%	0.6%	-0.4%	-0.3%	0.4%	-0.5%	0.9%	0.5%	0.4%	-0.5%
陸上風力発電		4.2%	-6.8%	2.3%	-3.4%	-2.5%	0.9%	-1.1%	2.5%	4.0%	1.0%	-2.0%

(Fraunhofer ISE : Public net electricity generation in the European Union より NTTD 作成。EU 加盟 27 国の総計値)

さらに、この時期の石炭火力発電量の増加は、再生可能エネルギーの発電量変動を補う役割のほか、ガス製品の在庫低下 (図表 2-1-1-7 (2014～2023 年のガス製品在庫水準の推移)) による潜在的な不安の緩和の役割も果たしていた可能性がある。特に、洋上風力の発電量減少が顕著であったことから、石炭火力発電の柔軟性と天然ガス火力発電の他に負荷配分可能な電源である石炭火力発電が存在したことによる多層的なエネルギー供給構造がエネルギー

¹⁰ 発電割合の前月差は、エネルギー源の項目に記載の各エネルギー源の発電量の各月の合計に占める各月の特定の電源の発電量の割合を算出し、当該割合の前月の割合差を計算している。なお、2022 年のエネルギー源別発電量・割合の詳細は Appendix の図表 4 を参照。

¹¹ 2022 年 3 月における陸上発電の減少については季節性のある事象でないことを確認済み。詳細は Appendix 図表 4,5 を参照。

ギー安定供給に寄与していたことが示唆される。

また、2022 年 3 月の石炭火力発電量の前月比増加が統計的に有意であるかを検証することを目的として、2022 年 3 月の石炭火力発電量の変動量を用い、異なる時点のデータ間で有意差があるかを検証できる統計学的な検定手法として Z 検定¹²を実施した。図表 2-1-2-2 は、Fraunhofer ISE の Public Net Electricity Generation in the European Union のデータから作成したものである。

図表 2-1-2-2. EU の 2022 年 3 月における石炭火力発電量変動の Z 検定の結果

エネルギー源	2020年～2022年平均値	2022年3月変動	2020年～2022年標準偏差	Z-score	p-value	信頼度
化石燃料（褐炭／亜炭）	-0.00036	0.02194	0.00664	3.36	0.08%	99.92%
化石燃料（硬質炭）	0.00030	0.02117	0.01098	1.90	5.74%	94.26%

（Fraunhofer ISE；[Public net electricity generation in the European Union](#) より、NTTD 作成）

図表 2-1-2-2.によると、Z 検定を用いて 2022 年 2 月から 3 月にかけての石炭火力発電量の変動量を算出した結果、褐炭および硬質炭の Z スコア¹³はそれぞれ 3.36、1.9 であり、P 値¹⁴はそれぞれ 0.08%、5.74%である。つまり、褐炭および硬質炭の変動量は、それぞれ 99%以上および 90%以上の信頼水準で統計的に有意であることが確認された。言い換えると、2022 年 3 月における石炭火力発電の変動は、2020 年から 2022 年の平均と比較して統計的に有意な差が認められる。つまり、再生可能エネルギー発電量の突発的な供給減少に対して、石炭火力発電が柔軟に対応していたことを示している。この結果は、気象条件などの外的要因による変動リスクが大きく、供給の安定性が確保されにくい再生可能エネルギー発電に対して、負荷配分可能な石炭火力発電が重要な電力供給源として機能していたことが示唆される。また、この役割は、エネルギー転換期において再生可能エネルギーが増大したからこそ、負荷配分可能な電源による電力供給の安定性の維持が不可欠であることをより明確に示していると考えられる。更に、ウクライナ侵略によるサプライチェーンの切り替えが開始できていない時点において、負荷配分可能なエネルギー源であり、地政学的リスクが低く早期のサプライチェーン切り替えが可能である石炭が、エネルギーシステムにおいて多層的なエネルギーの一つとして安定供給の観点からは極めて質の高い供給を行ったことに意

¹² Z 検定とは標本の平均と母集団の平均が統計学的に見て有意に異なるかどうかを検定する方法である。具体的な導出プロセスについては、Appendix②を参照されたい。

¹³ Z スコアは、標準正規分布における標準偏差の単位で観測値が平均からどれだけ離れているかを示し、Z 値が大きいくほど、平均からの偏差が大きく、統計的に有意である可能性が高い。

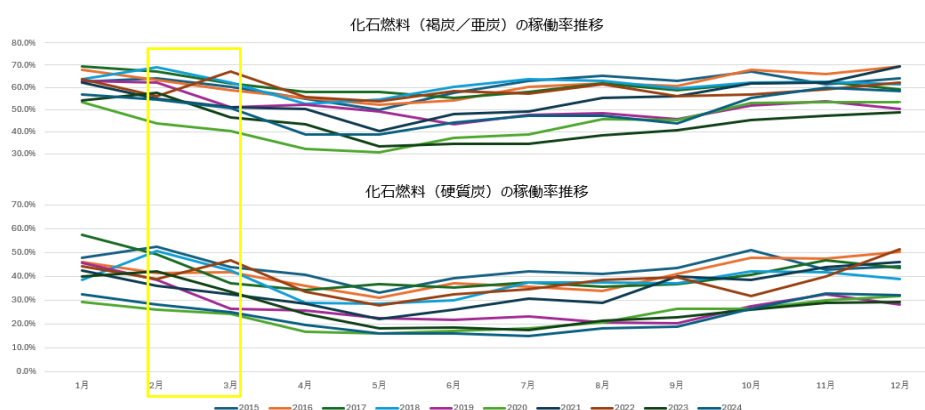
¹⁴ P 値は、現在のデータ以上に極端な結果が得られる確率を示し、P 値が小さいほど、統計的に有意の根拠となる。なお、一般的に統計的有意とされる P 値は 10%（0.10）以下である。

義を見いだすことができる。¹⁵

なお、年単位で見た場合には、天然ガスのロシアからの輸入制限による懸念については、2022 年 5 月の欧州委員会による「リパワーEU」によるエネルギー調達の多様化指針が示され、液化天然ガス（LNG）やノルウェーからの天然ガス輸入に切り替えを図ったため、天然ガス由来の発電量の割合は大きく変動せず、また 2022 年から 2023 年の冬は暖冬のためエネルギー逼迫の状況は避けられたと考えられるが、本事業は、こういった定説に対して、毎月のエネルギー統計を分析することによって、ウクライナ侵略発生時の状況におけるリスクを描き出したことに意義がある。

図表 2-1-2-3 は、EU2015 年から 2024 年にかけての石炭火力発電（褐炭/亜炭および硬質炭）の稼働率推移を示しており、2022 年 3 月に見られた石炭稼働率の変化が、通常の季節的変動によるものか、それとも特異的な要因によるものかを検証することを目的として、Fraunhofer ISE の Public Net Electricity Generation in the European Union および Net Installed Electricity Generation Capacity in the European Union のデータから作成したものである。この図表によると、例年 2 月から 3 月に褐炭/亜炭・硬質炭発電の稼働率は減少傾向であるが、2022 年の同時期の稼働率はそれぞれ 10% 近く顕著に上昇していることから、再生可能エネルギーの減少幅を補い、需要を賄うために石炭火力発電が機能したことが推察される。

図表 2-1-2-3. EU における石炭（褐炭/亜炭・硬質炭）発電の稼働率の時系列推移
(単位：%)



(Fraunhofer ISE ; Public net electricity generation in the European Union、

Net installed electricity generation capacity in the European Union より NTTD 作成。EU 加盟 27 各国の総計値)

図表 2-1-2-4 は、EU における 2015 年から 2024 年にかけての石炭火力発電（褐炭/亜炭

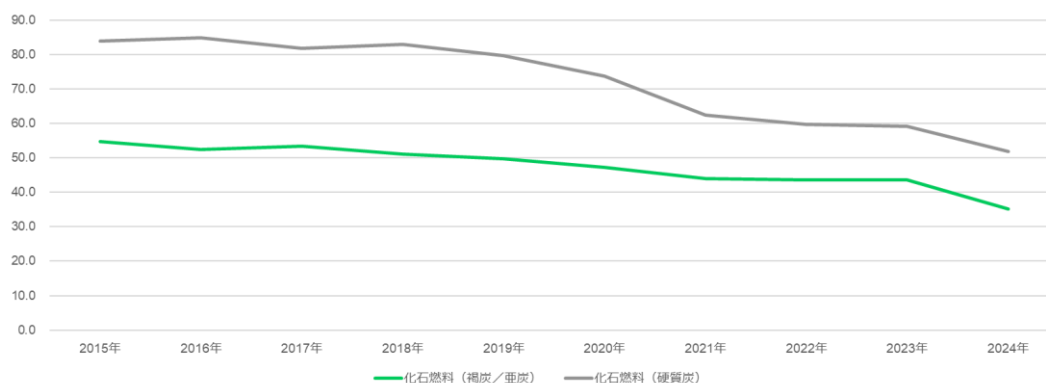
¹⁵ 再生可能エネルギーの電力供給減少に際して、石炭火力発電が減少分を補うケースについては、2021 年 9 月などにもみられ、気象条件などの外部要因から影響を受けやすい再生可能エネルギーの供給減少分を、負荷配分可能な石炭火力発電が柔軟にカバーしていると考えられる。

および硬質炭)の設備容量推移を示しており、2022年3月の石炭稼働率の増加が、設備容量の減少による発電量不足の影響で生じたものかどうかを検証することを目的として、Fraunhofer ISEのNet Installed Electricity Generation Capacity in the European Unionのデータから作成したものである。

この図表によると、近年、石炭火力発電の設備容量は徐々に減少しているものの、2022年3月には再生可能エネルギーの減少量を補うため、石炭火力発電の稼働率が大幅に引き上げられていたことが確認された。この結果は、欧州では、脱石炭火力発電が進められるものの、供給の安定性が低い一部の再生可能エネルギーの供給不足時に、負荷配分が可能なガス火力発電の在庫リスクや追加供給可能性がリスクに晒される可能性があり、そのような場合における負荷配分が可能な石炭火力発電が電力供給の安定化に寄与する重要な役割を担っている可能性を示している。

つまり、再生可能エネルギーの変動性や供給の不確実性が高まる状況において、エネルギー供給の多角化の重要性は増加しており、石炭火力発電は供給の信頼性を確保する電源として引き続き重要な存在であることが示唆される。

図表 2-1-2-4.
EU における石炭火力発電（褐炭/亜炭・硬質炭）の設備容量の推移
(単位：GW)



(Fraunhofer ISE ; Net installed electricity generation capacity in the European Union より NTTD 作成。EU 加盟 27 か国の総計値)

また、図表 2-1-2-5 は、2014 年から 2023 年にかけての時系列での EU の石炭輸入量と輸入量の前年比を Eurostat のデータからまとめたものである。2022 年におけるヨーロッパの個体化石燃料の輸入量に着目すると、ウクライナ侵略以前から脱石炭政策による石炭輸入量の継続的な減少傾向とは逆に一時的に石炭の輸入量の増加が見て取れる。つまり EU で

は 2019 年 12 月には発表された「欧州グリーンディール」¹⁶にて、2050 年までにカーボンニュートラルを達成する名目のもと、2021 年 6 月に採択された欧州気候法¹⁷により、温室効果ガスの排出削減の中間目標や最終目標を法的に拘束力のあるものされ、また同年 7 月に欧州委員会で発表された「Fit for 55 パッケージ」¹⁸にて脱炭素による持続的な経済成長の方向性を定めたが、国民の電力需要を賄うために、石炭の輸入量を著しく増やしウクライナ侵略の電力不足の懸念に対応した。例えば、ドイツでは石炭火力発電所を一時的に再開し、エネルギー供給の安定化を図り、加えてラトビアやアフリカ諸国から石炭の輸入を実施した¹⁹。

このような動きからも、ウクライナ侵略発生時において、エネルギー安全保障の面から、EU 域内の市民の電力需要を賄うために、EU が掲げた経済成長の方針を棚上げして、石炭の輸入ないしは石炭火力発電に頼らざるを得なかった可能性が示唆される。

図表 2-1-2-5. EU における石炭の輸入量（単位：Thousand tonnes）と
前年比割合差（単位：%）の推移

2014年～2023年石炭輸入量：

エネルギー（Thousand tonnes）	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
固体化石燃料	184102	180132	172014	174992	166210	137030	96940	115510	138148	101931
硬質炭	168460	166552	160271	163518	154390	125433	87708	104244	126737	92423
褐炭	4461	4169	2751	2600	2473	2461	1786	1384	2037	1575

2015年～2023年石炭輸入量前年対比割合差：

エネルギー（%）	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
固体化石燃料	-	-2.16%	-4.51%	1.73%	-5.02%	-17.56%	-29.26%	19.16%	19.60%	-26.22%
硬質炭	-	-1.13%	-3.77%	2.03%	-5.58%	-18.76%	-30.08%	18.85%	21.58%	-27.08%
褐炭	-	-6.56%	-34.01%	-5.47%	-4.91%	-0.49%	-27.42%	-22.52%	47.24%	-22.70%

（Eurostat：Imports of solid fossil fuels by partner country より、EU 加盟 27 か国の総計値）

なお、参考として、図表 2-1-2-6 は EU の 2021 年におけるエネルギー別発電量割合の前月差を示しており、石炭が他のエネルギー源の発電量減少を補完しているかを検証することを目的として、Fraunhofer ISE の Public net electricity generation in the European Union

¹⁶ EU(2019)「欧州グリーンディール」 https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/priorities-2019-2024/european-green-deal_en

¹⁷ EU(2022)「欧州気候法」 https://climate.ec.europa.eu/eu-action/european-climate-law_en

¹⁸ European Commission(2022)「Fit for 55 パッケージ」
<https://www.consilium.europa.eu/en/policies/fit-for-55/>

¹⁹ JETRO(2022)「天然ガスなどロシア産エネルギーへの依存低減が喫緊の課題（ドイツ）」
<https://www.jetro.go.jp/biz/areareports/special/2022/0802/323204f3c49432d3.html>

のデータから作成したものである。再生可能エネルギーの電力供給減少に直面し、石炭火力発電などの化石燃料が減少分を補うケースについては、2022 年 2 月のウクライナ侵略に限らず見られ、例えば 2021 年 9 月には、気象条件などの外部要因から影響を受けやすい再生可能エネルギーの供給減少分を、負荷配分可能な石炭火力発電が柔軟に賄っていることが分かる。ここから人為的にコントロールが難しい再生可能エネルギー発電の不足時に負荷配分可能な石炭火力発電が電力安定供給を担保する役割を継続して提供していた可能性が推察される。

図表 2-1-2-6. EU の 2021 年におけるエネルギー別発電量割合の前月差（単位：％）²⁰

エネルギー源	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
その他		0.0%	0.2%	0.1%	0.0%	-0.4%	-0.2%	0.0%	0.0%	0.0%	-0.1%	0.2%
その他の再生可能エネルギー		0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
バイオマス		0.0%	0.1%	0.2%	0.0%	-0.2%	-0.2%	0.2%	0.0%	0.0%	-0.1%	-0.1%
化石燃料（オイルシール）		0.0%	-0.1%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.1%	0.0%	0.0%	0.1%
化石燃料（褐炭／亜炭）		-0.8%	0.0%	0.4%	-1.1%	1.2%	0.0%	0.9%	0.5%	-0.1%	-0.3%	0.1%
化石燃料（硬質炭）		-1.1%	-0.3%	-0.3%	-1.1%	0.8%	1.0%	-0.4%	2.8%	-1.3%	0.9%	-0.5%
化石燃料（石炭由来ガス）		-0.1%	0.0%	0.1%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	-0.1%	0.0%	0.0%	0.0%
化石燃料（石油）		0.0%	0.0%	0.0%	0.1%	0.1%	0.1%	0.0%	-0.1%	0.0%	-0.1%	0.0%
化石燃料（泥炭）		0.0%	-0.1%	0.0%	0.0%	-0.1%	-0.1%	0.1%	0.0%	0.0%	0.1%	0.1%
化石燃料（天然ガス）		-1.9%	0.9%	0.6%	-4.9%	3.9%	-0.4%	-2.7%	3.6%	-1.6%	5.9%	-2.3%
河川流れ込み式水力発電		1.3%	-0.9%	0.2%	3.0%	0.0%	-1.5%	-0.7%	-2.1%	-1.0%	-0.2%	0.7%
原子力		-0.9%	0.5%	-0.8%	0.4%	0.4%	0.6%	1.2%	-0.4%	-0.8%	-2.0%	-0.7%
太陽光発電		1.4%	2.2%	1.5%	1.5%	1.0%	-0.7%	-0.5%	-1.3%	-2.0%	-2.4%	-0.6%
地熱発電		0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
貯水式水力発電		0.5%	-1.5%	-0.6%	0.7%	-0.2%	-0.3%	-0.2%	-0.9%	-0.4%	0.4%	0.9%
揚水式水力発電		0.1%	-0.2%	-0.1%	0.1%	0.1%	-0.2%	0.2%	-0.1%	0.0%	0.1%	0.0%
洋上風力発電		0.6%	-0.5%	-0.2%	-0.3%	-0.4%	0.3%	0.6%	-0.6%	1.3%	-0.5%	0.0%
陸上風力発電		0.8%	-0.4%	-1.2%	1.5%	-6.3%	1.6%	1.2%	-1.5%	5.8%	-1.8%	2.1%

（Fraunhofer ISE；Public net electricity generation in the European Union より NTTD 作成。EU 加盟 27 各国の総計値）

²⁰ 2021 年におけるエネルギー源別発電量の先月差の詳細は Appendix 図表 6 を参照。

2-1-3. エネルギー供給の突発的な不足時の石炭電力による補填の説明

2-1-2 項では、2022 年のウクライナ侵略時などの石炭火力発電と再生可能エネルギー発電の発電に関連するデータの確認を行い、ファクトベースで再生可能エネルギー発電の供給不足時における石炭火力発電の有用性や、エネルギー安全保障上の観点から石炭火力発電を含むエネルギー多角化の必要性の確認を行った。本項では、2-1-2 項で得られた石炭火力発電の有用性や必要性をさらに裏付けるべく、エネルギー余力と電力価格の観点から更に深堀を実施することで、検証を深度化する。

2-1-3-1. エネルギー余力の観点からの石炭火力発電の意義

図表 2-1-3-1 は、EU2022 年における化石燃料（石炭・天然ガス）の余力推移を示しており、各化石燃料の供給余力が年間を通じてどの程度確保されているかを検証することを目的として、Fraunhofer ISE の Public Net Electricity Generation in the European Union のデータから作成したものである。また、余力は通常、追加供給可能性に関する詳細なデータを踏まえて計算すべきであるが、今回の取得可能なデータの制約により、ヨーロッパ各国レベルのデータや資源の追加供給に関するデータを入手することができなかった。そのため、算出にあたっては、内山洋司氏の『発電機の 1 年間の発電電力量（キロワットアワー kWh）は、最大出力に設備利用率と 1 年間の時間数である 8760 時間（24 時間×365 日）を乗じて求める。』²¹という考え方をベースとしつつ、以下の通りの余力の計算方法とした。

$$\text{① 余力 (GWh)} = \text{②最大発電量 (GWh)} - \text{実際発電量 (GWh)}$$

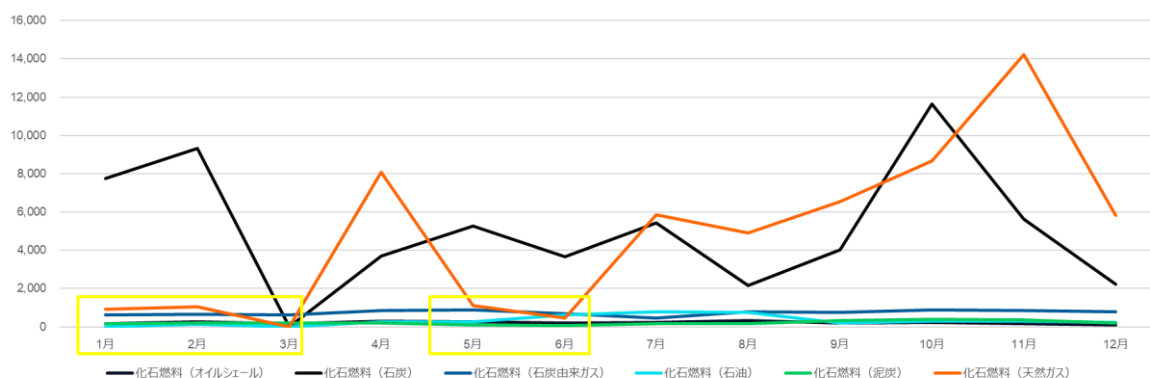
$$\text{② 最大発電量 (GWh)} = \text{2022 年の実際発電量 (GWh)} / \text{2022 年の実際稼働率} \times \text{2015 年～2024 年同月稼働率の最大値}$$

この分析によると、石炭火力発電のエネルギー余力は 3 月と 8 月を除き比較的安定しており、逼迫する状況は見られなかった。一方、天然ガスは 1 月から 3 月の冬季および 5 月・6 月に供給余力が逼迫していることが確認された。これらの結果から、特に冬季など電力需要が増加する期間において、仮に再生可能エネルギーの減少や天然ガス供給の不足といった供給制約が生じた場合でも、石炭は安定的に余力を維持しているため、機動的に供給不足分を補える可能性が示唆される。

²¹ 時事用語事典「パワーとエネルギー／kW と kWh」

<https://imid.as.jp/genre/detail/K-108-0098.html>

図表 2-1-3-1. EU の 2022 年における化石燃料別の余力推移（単位：GWh）



※余力 (GWh) = 最大発電量 (GWh) - 実際発電量 (GWh)

※最大発電量 (GWh) = 2022年の実際発電量 (GWh) / 2022年の実際稼働率 × 2015年～2024年同月稼働率の最大値

(Fraunhofer ISE ; [Public net electricity generation in the European Union](#) より NTTD 作成。EU 加盟 27 国の総計値)

加えて、図表 2-1-3-2 は、EU の 2022 年におけるエネルギー源別（月別）余力と年間の標準偏差を示しており、天然ガス火力発電と石炭火力発電の余力が年間を通じてどの程度安定しているかを比較し、検証することを目的として、Fraunhofer ISE の Public Net Electricity Generation in the European Union のデータを基に作成したものである。この図表では、2022 年におけるエネルギー源別余力の分散を分析した結果、石炭火力発電は天然ガス火力発電よりも標準偏差が小さく、年間を通じてエネルギー余力が安定していることが確認された。これにより、エネルギー供給に関わる緊急事態や供給不足時にも、石炭火力発電は通年を通して安定した余力を維持し、電力システムにおいて柔軟にエネルギーを供給できると考えられる。

図表 2-1-3-2. EU の 2022 年における化石燃料別月別余力（単位：GWh）と年間の標準偏差

エネルギー源	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	年間の標準偏差※
化石燃料（オイルシェール）	178	270	171	295	273	201	234	331	195	230	154	96	64
化石燃料（石炭）	7,740	9,309	0	3,688	5,273	3,654	5,429	2,176	4,032	11,645	5,622	2,221	3,109
化石燃料（石炭由来ガス）	635	671	636	858	886	675	477	774	771	880	864	778	120
化石燃料（石油）	0	125	8	268	276	616	777	744	209	289	296	239	248
化石燃料（泥炭）	181	207	192	185	93	62	182	155	332	381	364	185	96
化石燃料（天然ガス）	930	1,040	0	8,062	1,115	475	5,846	4,917	6,531	8,678	14,236	5,806	4,126

※標準偏差は、年間通じて余力のばらつきを表している。

(Fraunhofer ISE ; [Public net electricity generation in the European Union](#) より NTTD 作成。EU 加盟 27 国の総計値)

2-1-3-2. 電力価格の観点からの石炭火力発電の意義

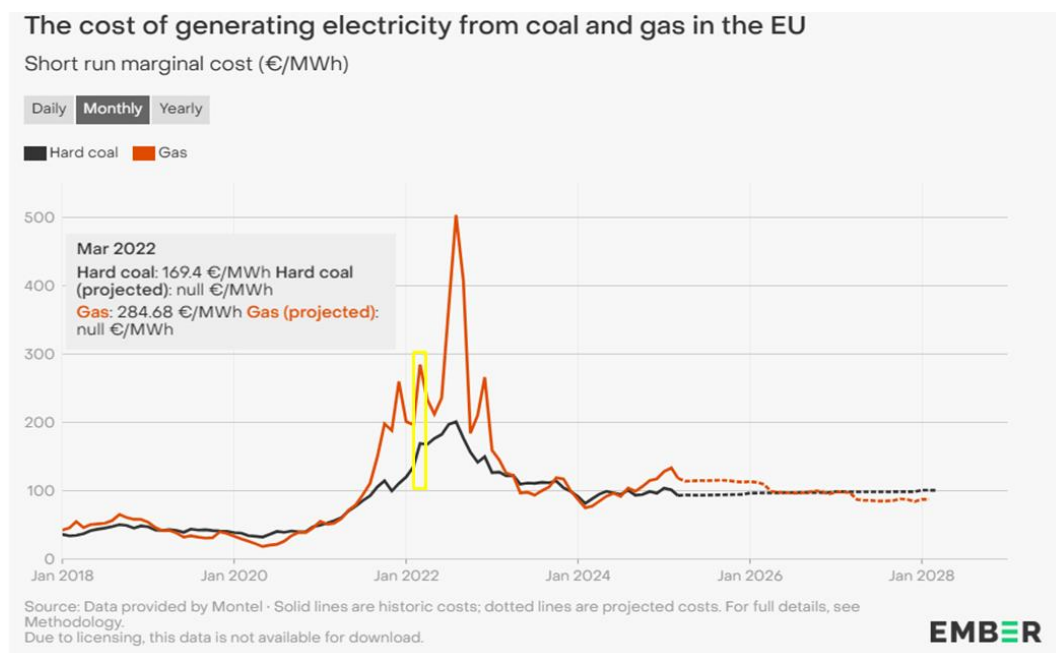
ここでは、上述した内容に加え、電力価格を踏まえた分析を交え、検証を深度化させていくこととする。

図表 2-1-3-3 は、2022 年における EU における石炭と天然ガスからの発電コストを示しており、2022 年 3 月の石炭と天然ガスの発電コストを比較することを目的としている。本データから、2021 年以降、天然ガスの発電コストは大幅に上昇し、ウクライナ侵略が始まった 2022 年初頭には 500€/MWh 超に達していることが分かる。一方で、石炭からの発電コストも上昇したものの、ガスよりも上昇幅が小さく、比較的安定して推移していることが分かる。

ここから、天然ガス由来のコストの変動リスクを鑑みると、発電コストは実際の電力価格に転嫁される可能性が高いため、電力価格を安定させるためには、石炭由来の電力に頼らざるを得ないこと推察できる。また、本データから 2022 年のウクライナ侵略以降のエネルギー不足の懸念の状況下で、天然ガスでの発電コストの高騰により、石炭での発電コストが相対的にコスト競争力を有していたと考えられ、発電量の増加につながったと推察できる。

したがって、本データからは、天然ガスと比較した際の発電コストの競争力と電力の安定価格での供給という側面から、石炭火力発電は有事の際にヨーロッパ国内の電力価格の高騰抑制や価格の維持安定に寄与していたと示唆される。

図表 2-1-3-3. EU の 2022 年石炭と天然ガスからの発電コスト



(EMBER : <https://ember-energy.org/data/european-electricity-prices-and-costs/>より引用)

2-1-4. 小括と今後の検討課題

本節では、2022 年のウクライナ侵略時、ヨーロッパにおいて石炭が電力システムにおける役割を定量的な分析や政策の変更の変遷を辿り明らかにした。結果、負荷配分可能 (dispatchable) な電源である天然ガス火力発電及び石炭火力発電(褐炭/亜炭および硬質炭)によって再生可能エネルギーが有する供給の不安定さを相殺する役割を担っていたことが明らかとなった。当時の天然ガスの在庫量は過去 10 年間で最も低く、かつ、供給の切り替えには、侵略発生から 3 ヶ月程度のタイムラグがあったことを勘案すると、再生可能エネルギー発電の供給不足に対して石炭火力発電が稼働率を上げ、供給不足を補っていたことは多層的なエネルギー供給の観点から質の高い供給であったことが統計から明らかとなった。また 2022 年を通じて、電力価格の安定化といった側面で、天然ガス火力発電の電気より価格の安い石炭火力発電を稼働することで、対天然ガス火力発電という点では有事の際の物価高騰の抑制に貢献したと考えられる。

他方で本項における今後の検討課題として、幾つか課題が挙げられる。まず本検討の検討範囲について、調査期間の制約からヨーロッパを対象を絞り分析を実施した。即ち、上記の分析結果が必ずしも地理的・経済的に異なるアジアや日本にも同様に当てはまるとは言えないため、更に調査を進める必要がある。次に、欧州における化石燃料のサプライチェーンの切り替えにおいて他の燃料の需給状況に対する追加供給主体として石炭が果たした役割について、公開データの制約上から、緻密にヨーロッパ各国レベルのデータや資源の追加供給に関するデータ等を入手し分析を実施できていない。よって、追加で当該のデータを入手し、分析することで、結論に至る論証をサポートできる余地がある。最後に、本項で行った分析は先行研究を踏まえた上で、分析手法を検討し分析を進めたが、短期間の事業であったため、更に適切な先行研究や分析をサポートする情報がある可能性がある。したがって、限られた情報のなかでのウクライナ侵略時の分析に結論は留まっていることに留意されたい。

2-2. ウクライナ侵略時に電源構成に影響を及ぼす有事が発生した場合のシミュレーション

本節では、ウクライナ侵略時に電源構成に影響を及ぼす有事が発生した場合のシミュレーションを行うことで、各電力の発電にネガティブな変動を及ぼす事象が同時に発生したと仮定したとき、石炭火力発電は有力な電源といえたか、というリサーチ・クエスチョンに対する検証を実施する。

また、本節の検証にあたり先行調査を併せて調査したところ、本節のリサーチ・クエスチョンである「2022年のウクライナ侵略時、ヨーロッパにおいて、各電源の発電にネガティブな変動を及ぼす事象が同時に発生したと仮定した場合、石炭火力発電は有力な電源といえたか」という観点で、観点でのシミュレーションやデータ分析を行った具体的な調査事例は、現時点で確認できなかった。ただし、関連する情報として、自然エネルギー財団の調査²²では、ロシアのウクライナ侵略後、ヨーロッパではエネルギー供給の安定性を確保するため、石炭火力発電の再評価が行われたことが報告されている。具体的には、ドイツがポーランドから石炭火力発電による電力を輸入した事例があり、これは天然ガス供給の不安定さを補う措置として実施されたと想定される。このような事例から、エネルギー供給の安定性を確保するために、石炭火力発電が一時的な代替手段として利用されたことが示唆される。一方で、具体的なシミュレーションデータや詳細な分析結果を含む調査事例は見当たっていない。

よって、本節のリサーチ・クエスチョンにおけるシミュレーションによるデータ分析は調査として新規性の高いものとなるため、新たなシミュレーションの手法を構築し、その方法を基にして検証を実施していく。

2-2-1. シミュレーション方法

2022年のウクライナ侵略時の電力供給量の実績値をもとに、電力構成に含まれる特定の発電の稼働率が過去の有事水準で最小稼働率となっていた場合を仮定し、石炭火力発電以外の発電量余力で減少分を補うことができたかをシミュレーションモデルを構築し確認する。なお、補うことができない場合はどれほどの発電量が不足していたか示し、石炭の位置付けを検証する。

2-2-1-1. 過去の有事事例

はじめに過去有事については、前項で実施したウクライナ侵略時に天然ガス火力発電の供給減は見られなかったものの、侵略後に供給不足になる懸念が特に天然ガス火力発電で

²² 欧州のエネルギー危機、自然エネルギーが電気料金の軽減に

<https://www.renewable-ei.org/activities/column/REupdate/20220413.php>

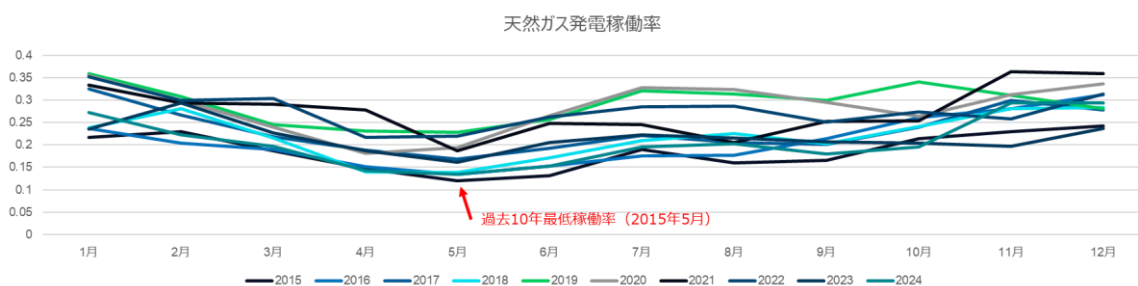
見られたことから、天然ガス火力発電の過去の稼働率を採用し、検討を進める。

図表 2-2-1-1 は、EU2015 年から 2024 年までの各月の天然ガス火力発電の稼働率の推移を示しており、過去最小の稼働率が生じた際の有事事例を確認することを目的としている。このデータは、Fraunhofer ISE の Public Net Electricity Generation in the European Union から取得したもので、以下の計算式を用いて算出された。

$$\text{月間稼働率} = \text{月間発電量} / (\text{設備容量} \times \text{月間時間})$$

図表 2-2-1-1. から確認できるように、過去 10 年の天然ガス火力発電の最小稼働率は 2015 年 5 月の 12% であり、2015 年 4 月の 22% からおよそ 7% 稼働率が減少していた。本事象の背景として、2014 年に始まったロシアのクリミア併合によるウクライナ紛争の影響で、欧州はロシア産天然ガスへの依存を減らそうとし、ロシアへの制裁を強化したことが有力な原因と考えられる。また、2015 年 1 月、ロシアは「ウクライナ経由のガス供給を将来的に完全に停止する」と発表、同年 5 月、ロシアとトルコが「トルコ・ストリーム」の協議を進めるが、最終合意には至らず、一時的にガス供給が不安定になっていたことも推察される。

図表 2-2-1-1. EU の 2015 年から 2024 までの天然ガス火力発電の稼働率推移



(Fraunhofer ISE ; Public net electricity generation in the European Union、

Net installed electricity generation capacity in the European Union より NTTD 作成。EU 加盟 27 各国の総計値)

2-2-1-2. 発電量余力のシミュレーションモデル

発電量余力は通常、追加供給可能性に関する詳細なデータを踏まえて計算すべきであるが、今回の集約可能なデータの制約により、ヨーロッパ各国レベルのデータや資源の追加供給に関するデータを入手することができなかった。そのため、「2-1-3-1. エネルギー余力の観点からの石炭火力発電の意義」と「2-2-1-1」の内容と整合性を確保しつつ、シミュレーションの計算モデルを構築した。

エネルギー源の特性によっては、モデルの適用が適切でない可能性がある。例えば、以下

の点が考慮されるべきであると考える。

- 再生可能エネルギー発電

風力発電や太陽光発電は天候に依存するため、過去の最大稼働率を適用するだけでは実際の供給可能量を正確に推定できない。また、現状の技術では余剰電力を大規模に蓄電することが困難であり、一時的な供給量増加は制約を受ける。

- 原子力発電

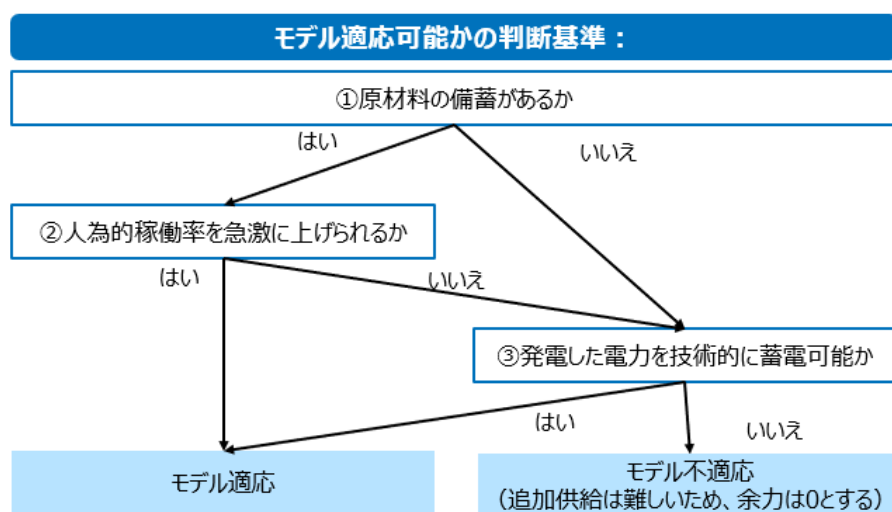
原子力発電はベースロード電源として機能し、長期間にわたり一定の出力を維持することを前提としている。一部の原子炉では負荷追従運転（ロードフォロワー運転）が可能であるが、急激な出力増加は炉心や関連機器に負荷をかけ、安全性や設備寿命に影響を及ぼす可能性がある。さらに、EU 加盟国では原子力発電所の運転に関する規制が各国の原子力規制当局の管轄下であり、出力変更には事前の承認が必要となる場合がある。

- 化石燃料発電

石炭や天然ガスによる火力発電は、燃料の備蓄量や供給体制に依存するものの、比較的短期間で追加供給が可能である。そのため、本モデルの適用に適していると考えられる。

以上の特性を踏まえ、モデルの適用可能性を以下の 3 つの判断軸で評価する。①原材料の備蓄があるか、②人為的稼働率を急激に上げられるか、③発電した電力を技術的に蓄電可能か、の 3 点である。これらの評価基準をまとめたものを、図表 2-2-1-2 に示す。

図表 2-2-1-2.モデル適応可能かの判断基準



(NTTD にて独自に作成)

図表 2-2-1-2 において、モデル適応の場合、以下の通りシミュレーションの計算モデルを利用する。

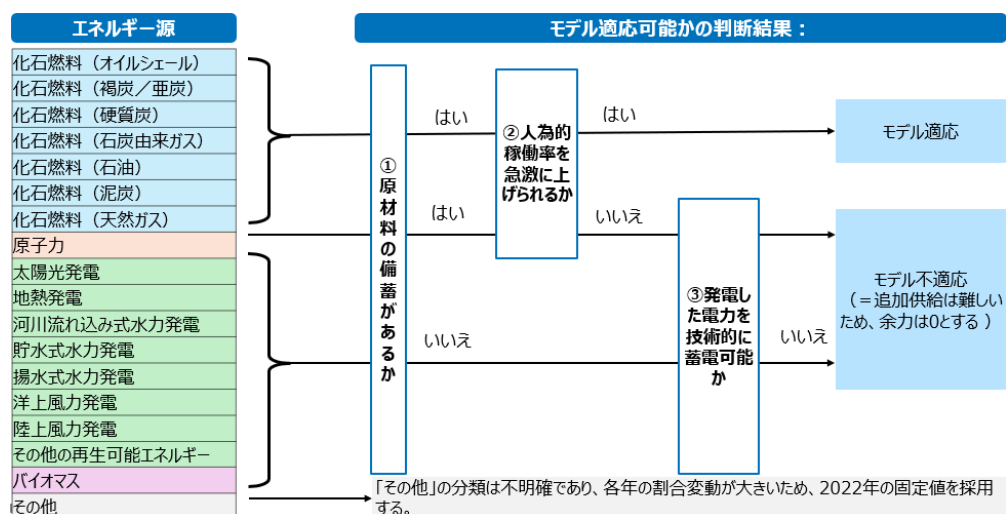
$$\text{① 余力 (GWh)} = \text{②最大発電量 (GWh)} - \text{実際発電量 (GWh)}$$

$$\text{② 最大発電量 (GWh)} = \text{2022 年の実際発電量 (GWh)} / \text{2022 年の実際稼働率} \times \text{2015 年～2024 年同月稼働率の最大値}$$

一方で、モデル不適用の場合、追加供給は難しいため、最大発電量 (GWh) = 実際発電量 (GWh) とする。すなわち、余力は 0 とみなしてシミュレーションする。

各エネルギー源が本モデルに適用可能かどうかの判断結果を図表 2-2-1-3 に示す。化石燃料 (石炭・天然ガス) については、燃料の備蓄が可能であり、人為的な稼働率の調整が比較的容易であることから、本モデルに適用可能と判断する。一方、原子力発電については、前述の通り、負荷追従運転が可能な一部の原子炉を除き、基本的にベースロード電源として運用されている。そのため、短期間での発電量増加は現実的ではなく、本モデルの適用は不相当と判断する。バイオマス発電については、主に廃棄物や有機資源を燃料とするため、原材料供給の安定性に課題がある。特に、急激な稼働率向上が難しい点において、風力・太陽光などの再生可能エネルギーと同様の制約を受ける。このため、本モデルには適用不可とする。その他に分類されるエネルギー源については、具体的な内訳が不明確であり、各年の割合変動も大きい。そのため、シミュレーションの不確実性を低減する目的で、2022 年の実績値を固定値として採用することとした。

図表 2-2-1-3. 各エネルギー源はモデル適応可能かの判断結果



(NTTD にて独自に作成)

本事業では、公開データの制約を考慮しつつ、エネルギー源ごとの特性を踏まえた発電余力の推定モデルを構築した。特に、化石燃料に関しては本モデルの適用が可能であるが、再生可能エネルギーや原子力発電については慎重な評価が必要である。今後、より詳細なデータが利用可能になれば、モデルの精度向上が期待される。

2-2-2. シミュレーション結果と今後の検討課題

上述の天然ガス火力発電の最小稼働率とエネルギー余力の計算方法をもとに、シミュレーションした結果が図表 2-2-2-1 である。²³

図表 2-2-2-1. 2022 年 5 月エネルギー源別発電量と余力のシミュレーション
(単位：GWh)^{24 25 26 27}

単位：GWh

エネルギー源別	5月 (実際発電量)	5月 (天然ガス稼働率22% →12%)	不足量	2022年石炭以外の 発電量余力
その他	5,688	5,688	0	0
その他の再生可能エネルギー	363	363	0	0
バイオマス	6,583	6,583	0	0
化石燃料 (オイルシェール)	304	304	0	273
化石燃料 (褐炭／亜炭)	17,431	17,431	0	
化石燃料 (硬質炭)	12,336	12,336	0	
化石燃料 (石炭由来ガス)	524	524	0	886
化石燃料 (石油)	1,131	1,131	0	276
化石燃料 (泥炭)	403	403	0	93
化石燃料 (天然ガス)	29,694	16,222	13,472	1,115
河川流れ込み式水力発電	16,118	16,118	0	0
原子力	42,710	42,710	0	0
太陽光発電	21,028	21,028	0	0
地熱発電	480	480	0	0
貯水式水力発電	9,830	9,830	0	0
揚水式水力発電	2,537	2,537	0	0
洋上風力発電	2,923	2,923	0	0
陸上風力発電	23,741	23,741	0	0
合計	193,825	180,353	13,472	2,642

10,830GWhの電力不足が発生

(Fraunhofer ISE ; Public net electricity generation in the European Union、

Net installed electricity generation capacity in the European Union より NTTD 作成。EU 加盟 27 各国の総計値)

²³ 季節性の影響を排除するため 2022 年 2 月ではなく、2015 年の天然ガス発電の稼働率が最小となっている 5 月を対象にシミュレーションを実施した。

²⁴ 2022 年石炭以外の発電量余力の詳細については、Appendix の図表 7 を参照。

²⁵ 2022 年のエネルギー源別実際発電量の詳細については、Appendix の図表 8 を参照。

²⁶ 2022 年エネルギー源別実際稼働率の詳細については、Appendix の図表 9 を参照。

²⁷ 2015 年～2024 年化石燃料同月稼働率の最大値の詳細については、Appendix の図表 10 を参照。

図表 2-2-2-1 は、EU2022 年 5 月における実際の発電量と、天然ガス火力発電の稼働率が過去 10 年の天然ガス火力発電同最小稼働率である 12%に低下した場合（2-2-1-1.項を参照）の発電量を比較したものである。具体的には、「5 月（実際発電量）」は 2022 年 5 月の実際の発電量実績を示し、「5 月（天然ガスの稼働率が 12%になった場合）」は同月において天然ガスの稼働率が 12%に低下した場合の発電量を示している。「不足量」は、実際の発電量（「5 月（実際発電量）」）から、稼働率が 12%の場合の発電量（「5 月（天然ガスの稼働率が 12%になった場合）」）を差し引いたものである。本シミュレーションの結果、天然ガス火力発電の稼働が過去有事の際の最小稼働となった場合に、石炭以外のエネルギー余力で、天然ガス火力発電による供給不足分が補えないことが分かる。2 章において天然ガス資源はウクライナ侵略時において不足の懸念があったものの、LNG への切り替えや迅速なエネルギー供給網の多角化戦略により安定的に提供がなされていた。しかしながら、本項のシミュレーションで検討した通り、原材料としてのエネルギーの備蓄が困難な再生可能エネルギー発電については、ケースに置いた有事の際に、機動的に稼働力を高めることができず、その結果、電力需要を賄えないケースも想定されるといえる。

なお、本シミュレーション分析では、短期間での調査・データの制約から幾つかの追加検討観点が挙げられる。まず、シミュレーションの対象として、天然ガスの最小稼働率を用いて算出しているものの、異常気象による渇水のように、水力・原子力などの複数の電力変の稼働率が同時に著しく減少する場合もあり得る。今回のシミュレーションでは天然ガス火力発電の最小稼働のみをケースに置いたが、複数の電源の稼働率が低下した場合に、更に電力需要を補えない可能性もあり得る。したがって、このような可能性からも石炭をはじめとした備蓄可能でかつ柔軟に発電稼働を上げることのできる電源の必要性が示される。

しかしながら、蓄電池の技術の進歩など、将来的に考えられる技術革新による影響についても、本シミュレーションでは取り扱っていないことに留意する必要がある。

2-3. 2030 年の電力需給予測を踏まえた石炭火力発電からのフェーズアウトの可能性

本節では、EU2030 年の電力需給予測に基づき、石炭フェーズアウトの実現可能性を検証することを目的とする。具体的には、EU2030 年の月間電力需要量および発電量の予測を行い、同年に石炭火力発電が存在しない場合の電力需要と供給の差を分析する。さらに、2-2-1-2 で示す発電量余力の計算ロジックを用いて、石炭以外のエネルギー源による供給余力が、供給不足が発生した場合にその不足分を補完できるかどうかを明らかにする。

2-3-1. シミュレーションモデル（EU の 2030 年における電力需給予測方法）

まず 2030 年の EU における月間の電力需要量の予測については、2024 年の EU の電力需要量の実績値に、IEA（国際エネルギー機関）の過去の年率成長率 1.9% を乗じて算出したものをベースとして考えることとする。そのとき、2030 年における電力需要量の具体的な算出方法は下記の通りとなる。この計算結果を示したものが図表 2-3-1-1 である。

2030 年電力需要量 = 2024 年の月間電力需要量 × 101.9% ^ 6 年間(※2030 年 – 2024 年)

図表 2-3-1-1. EU の 2030 年におけるエネルギー源別予測需要量（単位：GWh）

2024年発電量（GMh）：

月	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
発電量	242,154	212,260	212,772	194,471	188,390	186,369	201,212	194,690	188,803	202,786	214,600	227,362



2030年予測電力需要量（GMh）：

月	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
発電量	271,104	237,636	238,210	217,721	210,913	208,651	225,267	217,965	211,375	227,030	240,257	254,544

（IEA：Electricity 2025（<https://www.iea.org/reports/electricity-2025>）より NTTD 作成。EU 加盟 27 か国の総計値）

また、図表 2-3-1-2 は、2030 年の月間の発電量の予測について、2015 年から 2024 年のデータを基に、各電力構成の設備容量および同月の稼働率の年平均成長率を算出し、2024 年の実績値に年平均成長率を乗じて予測を行ったものである。具体的な算出方法は以下の通りとしたシミュレーションの計算モデルを構築した。

① 2030 年月間発電量（GWh）= ②2030 年設備容量（GW）× 月間稼働時間（h）× ③
2030 年月間稼働率

② 2030 年設備容量 = 2024 年設備容量 × (1 + 設備容量の年平均成長率) ^ 6 年間(※ 2030 年 - 2024 年)

設備容量の年平均成長率 = (2024 年設備容量 / 2015 年設備容量) ^ (1 / 10) - 1

③ 2030 年月間稼働率 = 2024 年月間稼働率 × (1 + 月間稼働率の年平均成長率) ^ 6 年間 (※2030 年 - 2024 年)

月間稼働率の年平均成長率 = (2024 年月間稼働率 / 2015 年月間稼働率) ^ (1 / 10) - 1

図表 2-3-1-2. EU の 2030 年におけるエネルギー源別予測設備容量（単位：GW）と
予測稼働率（単位：%）

2030年予測設備容量（GW）：

エネルギー源別	設備容量
その他	5.98
その他の再生可能エネルギー	2.34
バイオマス	25.13
化石燃料（オイルシェール）	1.02
化石燃料（褐炭／亜炭）	26.21
化石燃料（硬質炭）	37.61
化石燃料（石炭由来ガス）	5.01
化石燃料（石油）	11.81
化石燃料（泥炭）	0.62
化石燃料（天然ガス）	197.19
河川流れ込み式水力発電	42.46
原子力	81.11
太陽光発電	563.84
地熱発電	0.89
貯水式水力発電	55.66
揚水式水力発電	38.24
洋上風力発電	30.89
陸上風力発電	279.52

2030年予測稼働率：

1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
83.5%	79.5%	76.9%	93.0%	81.2%	91.5%	89.7%	95.1%	70.1%	102.8%	122.5%	125.2%
21.7%	21.9%	20.4%	19.4%	18.4%	20.3%	21.6%	22.9%	22.4%	26.4%	25.2%	25.7%
35.9%	38.5%	35.2%	32.7%	32.3%	30.8%	29.2%	30.7%	30.4%	35.2%	40.4%	42.2%
22.4%	10.4%	9.4%	4.5%	5.6%	7.6%	5.7%	2.2%	5.7%	5.3%	5.3%	8.4%
52.9%	49.1%	44.8%	30.9%	32.6%	36.7%	38.8%	38.3%	34.0%	48.3%	58.7%	54.8%
24.9%	18.6%	17.1%	12.0%	9.9%	8.8%	7.3%	10.4%	10.7%	17.1%	27.2%	26.1%
25.9%	36.2%	26.7%	26.3%	17.6%	25.3%	51.1%	38.3%	16.7%	23.9%	18.4%	27.6%
15.0%	11.1%	10.0%	8.4%	7.9%	5.8%	4.4%	7.0%	6.3%	7.2%	13.5%	4.3%
77.4%	46.5%	37.9%	46.8%	20.9%	5.4%	2.8%	0.6%	1.3%	10.1%	14.1%	18.6%
31.9%	21.7%	20.4%	14.1%	14.3%	16.9%	19.8%	23.8%	19.1%	18.4%	34.6%	33.4%
65.3%	61.1%	66.9%	68.0%	69.2%	71.2%	69.8%	46.5%	49.5%	77.4%	44.7%	49.2%
87.8%	85.3%	70.4%	65.5%	67.2%	68.2%	77.7%	81.3%	71.8%	78.0%	78.7%	92.5%
3.5%	5.0%	7.3%	9.9%	13.4%	13.8%	15.2%	15.5%	10.7%	7.7%	4.0%	3.6%
70.4%	74.5%	70.2%	66.9%	64.0%	64.8%	69.3%	64.0%	60.8%	65.5%	41.1%	5.6%
40.6%	29.4%	36.3%	32.1%	27.0%	22.9%	22.4%	19.5%	20.9%	28.2%	26.7%	29.0%
22.4%	21.7%	25.3%	27.7%	24.2%	23.2%	24.3%	20.2%	17.2%	21.9%	15.6%	17.5%
100.4%	118.6%	82.6%	87.9%	32.3%	38.0%	32.5%	36.6%	44.3%	53.9%	43.1%	57.4%
35.4%	38.8%	22.9%	25.4%	13.9%	15.7%	13.5%	15.9%	22.4%	28.3%	23.2%	32.2%

※2030年の設備容量と稼働率は2015年～2024年のデータから平均成長率から算出

(Fraunhofer ISE：Public net electricity generation in the European Union、

Net installed electricity generation capacity in the European Union より NTTD 作成。EU 加盟 27 か国の総計値)

2-3-2. シミュレーション結果と今後の検討課題

図表 2-3-2-1 は、EU2030 年のエネルギー源別の予測供給量と、EU の 2030 年の需要予測に対して、石炭以外の電力供給量が不足した場合に石炭がどの程度供給不足を補えるかを検証することを目的として作成したものである。この図表では、各エネルギー源の供給量と、予測される需要を比較し、石炭火力発電が不足分をどの程度補完できるかのシミュレーション結果を示している。図表 2-3-2-1 から分かるように、2030 年までの推定の場合において、石炭（化石燃料（褐炭／亜炭）、化石燃料（硬質炭））がない場合、一年の半分程度の月の需要を満たせず、停電リスク等が発生する可能性がある。そのため、石炭火力発電は電力の安定供給に不可欠のエネルギー源であると考えられる。

図表 2-3-2-1. EU の 2030 年における予測石炭以外の電力供給量（GWh）

エネルギー源別	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
その他	3,714	3,192	3,418	4,000	3,609	3,939	3,987	4,231	3,018	4,569	5,269	5,565
その他の再生可能エネルギー	378	344	354	326	320	341	376	399	377	459	424	447
バイオマス	6,721	6,504	6,579	5,916	6,048	5,570	5,452	5,739	5,504	6,590	7,303	7,892
化石燃料（オイルシェール）	170	71	71	33	42	56	43	17	42	41	39	63
化石燃料（褐炭／亜炭）												
化石燃料（硬質炭）												
化石燃料（石炭由来ガス）	965	1,219	996	949	656	911	1,903	1,428	601	889	665	1,030
化石燃料（石油）	1,316	881	881	716	691	489	385	618	532	635	1,148	380
化石燃料（泥炭）	356	193	174	209	96	24	13	3	6	46	63	86
化石燃料（天然ガス）	46,749	28,756	29,862	19,966	21,021	23,927	29,080	34,929	27,105	26,973	49,058	48,934
河川流れ込み式水力発電	20,629	17,427	21,121	20,795	21,848	21,767	22,046	14,682	15,142	24,448	13,672	15,528
原子力	52,969	46,520	42,459	38,230	40,582	39,845	46,917	49,062	41,938	47,074	45,974	55,805
太陽光発電	14,584	18,772	30,644	40,302	56,038	55,843	63,813	65,078	43,475	32,397	16,270	15,138
地熱発電	465	444	463	427	422	414	457	422	388	432	262	37
貯水式水力発電	16,824	11,000	15,026	12,869	11,170	9,169	9,278	8,092	8,374	11,659	10,718	11,994
揚水式水力発電	6,376	5,566	7,186	7,631	6,897	6,379	6,910	5,742	4,740	6,217	4,289	4,982
洋上風力発電	23,081	24,626	18,990	19,542	7,421	8,461	7,467	8,407	9,848	12,395	9,585	13,186
陸上風力発電	73,696	72,830	47,698	51,143	28,909	31,533	28,115	33,121	45,065	58,934	46,655	67,011
合計	268,993	238,344	225,922	223,056	205,771	208,668	226,240	231,971	206,154	233,760	211,393	248,079
予測発電量-予測需要量	-2,112	708	-12,288	5,335	-5,141	17	973	14,005	-5,221	6,730	-28,863	-6,465

※電力供給量（GWh）＝ 予測設備容量（GW）× 月間稼働時間（h）× 予測稼働率（％）

（Fraunhofer ISE；Public net electricity generation in the European Union、

Net installed electricity generation capacity in the European Union より NTTD 作成。EU 加盟 27 各国の総計値）

図表 2-3-2-2 は EU の 2030 年における石炭以外のエネルギー源余力で不足分をカバー可能か、をシミュレーションした結果を表している。

2030 年の発電量余力は通常、過去の追加供給可能性に関する詳細なデータを踏まえて予測すべきであるが、今回の取得可能なデータの制約により、ヨーロッパ各国レベルのデータや資源の追加供給に関するデータを入手することができなかった。そのため、「2-2-1-2.発電量余力のシミュレーションモデル」と合わせて、以下の通りシミュレーションの計算モデルを構築した。

図表 2-2-1-2 において、モデル適応となる場合、下記の計算モデルを利用する。

$$\text{① 余力 (GWh)} = \text{② 2030 年最大発電量 (GWh)} - \text{2030 年予測電力供給量 (GWh)}$$

② 2030 年最大発電量 (GWh) = 2030 年予測電力供給量 (GWh) ÷ 2030 年の予測稼働率 × 2015 年～2024 年同月稼働率の最大値

一方で、図表 2-2-1-2 においてモデル不適合となる場合、追加供給は困難であると判断し、最大発電量 (GWh) = 実際発電量 (GWh) とする。すなわち、余力は 0 とする。

図表 2-3-2-2 の結果から、2030 年までの推定において、石炭（化石燃料（褐炭／亜炭）、化石燃料（硬質炭））が供給されない場合は、他のエネルギー源の供給余力によって需要の不足分を補えないことが確認できた。つまり、本シミュレーションを前提とすると、2030 年時点で石炭火力発電に依存せず、再生可能エネルギー中心の発電にシフトすることが難しい可能性を示唆する。

図表 2-3-2-2. EU の 2030 年における石炭以外のエネルギー源余力で不足分をカバー可能かどうか検証したシミュレーション結果（GWh）^{28 29}

月	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
不足分（予測発電量-予測需要量）	-2,112	708	-12,288	5,335	-5,141	17	973	14,005	-5,221	6,730	-28,863	-6,465
石炭以外の余力	7,739	13,648	16,665	21,880	15,324	16,453	20,791	13,502	20,030	24,454	6,948	5,032
余力-不足分	5,628	-	4,377	-	10,183	-	-	-	14,809	-	-21,915	-1,433

（IEA：Electricity 2025（<https://www.iea.org/reports/electricity-2025>）、Fraunhofer ISE：Public net electricity generation in the European Union、Net installed electricity generation capacity in the European Union より NTTD 作成。EU 加盟 27 国の総計値）

しかしながら、本分析についても前項のウクライナ侵略時のシミュレーションと同様に、短期間での調査・取得可能なデータの制約から幾つか今後の検討課題が挙げられる。

まず、蓄電池の技術の進歩など、技術革新による影響について、本シミュレーションでは取り扱えていない。つまり、仮に再生可能エネルギーで発電した電力を長期間蓄電池に蓄えることができれば、電力不足時に活用でき、石炭をはじめとする化石燃料への依存度を低くできる。したがって、蓄電池など技術革新の進展度合いが、長期的なエネルギーミックスの政策の方向性を左右すると考えられる。

また、電力需給の予測については、今回は取得可能なデータと調査期間の制約から、年率平均値を 2024 年の実績に乗じることで算出を行った。しかしながら、昨今のデータセンターをはじめとする電力需要の高まりや、技術革新による消費電力の減少など、需給予測をする上でパラメーターを組み込んだ統計的な予測手法を採用していない。したがって、電力需給に影響を及ぼすパラメーターを考慮し、分析をすることで、今回得られた分析結果と異なる分析結果が得られる可能性があることに留意されたい。

²⁸ 2030 年石炭以外の発電量余力の詳細については、Appendix の図表 11 を参照。

²⁹ 2015 年～2024 年化石燃料同月稼働率の最大値の詳細については、Appendix の図表 10 を参照。

2-4. 本章のまとめと今後の検討課題

本章では、ウクライナ侵略発生時の欧州のサプライチェーン切り替えにおける、エネルギー源多角化、とりわけ石炭がエネルギー安全保障達成に与えた役割を明らかにすべく、欧州を対象に以下3点の分析を実施した。

分析1(対応項目2-1.)の結果について、まず、欧州において最も電力需要が大きい時期は冬期(11月～3月)であること、そして、2021年から2022年にかけての冬期は過去10年間に於いて8番目に電力需要が多く、かつ、同1番目に天然ガス在庫量が少ない冬であったことを統計データから確認した。

次に、天然ガス資源のサプライチェーン切り替えについて、切り替えが発生した時期は、侵略から3ヶ月が経過した、最需要期である冬期が過ぎた2022年の春(5月)以降であり、冬期を含む同期間において何らかの需要が急増した場合は、在庫逼迫リスクが発生する可能性があることが統計データから確認できた。ただし、実際には最も在庫が低くなる4月末時点では過去から2番目に低い値であり、また、1ヶ月分の在庫を有しており、その後供給が急増して例年より低いレベルであった天然ガス資源の蓄積水準を年末までに回復したことが統計上確認できた。天然ガス資源の供給手段については、気体供給の「天然ガス」と液体供給の「LNG」の2種類があるが、「天然ガス」についてはアルジェリア、チュニジア、トルコ、アルバニア、セルビア、ウクライナ、ベラルーシを含む、「LNG」はアルジェリア、カタール、アンゴラを含む、それぞれ調達源の多角化によって対前年比増を達成した。

一方、石炭のサプライチェーン切り替えについては、ウクライナ侵略直後の2022年3月からコロンビア及びカザフスタンからの輸入急増を皮切りに、南アフリカなどの輸入増が続いたことで同年8月にはロシア炭からのフェーズアウトを完了させた。加えて、採掘地に隣接する火力発電所で消費する「褐炭」については、EUでの褐炭消費量が2022年は前年比6パーセント増を達成した。

エネルギーの安定供給の観点では、2022年2月のウクライナ侵略発生時において、再生可能エネルギー発電の構成比が前月比で減少(特に洋上風力発電(6.8%減))しており、同減少分に対して負荷配分可能な電源である天然ガス火力発電(1.5%増)、石炭火力発電(褐炭/亜炭)(2.2%増)及び石炭火力発電(硬質炭)(2.1%増)が稼働率を上げて、当該供給不足を補っていたことが統計データから確認できた。

エネルギーの低廉な供給の観点では、ウクライナ侵略によるサプライチェーンの切り替えによって、世界的な化石燃料価格の高騰が発生した。しかしながら、2022年を通じて、天然ガス火力発電より石炭火力発電は低廉であったことから、石炭火力発電の稼働は、対天然ガス火力発電の点で見れば、有事の際の物価高騰の抑制に貢献したことが示唆された。

負荷配分可能な発電のエネルギー源に分類される石炭及び天然ガスについて、石炭が天然ガスとの対比で有用性を発揮するかどうかについて、分析2(対応項目2-2.)では、過去に発生した天然ガス火力発電の稼働減といった有事を仮定すると、再生可能エネルギー発電だけでは、電力需要を賄えず、その結果、石炭火力発電なしには安定供給が達成できない可

能性が示唆された。

同じく、分析 3(対応項目 2-3.)では、今回の活動で扱ったデータの制約という留意点はあるものの、2030 年の電力需給予測からは特定の期間の需要超過が見込まれるが、石炭以外のエネルギーの余力を活用してもなお、電力不足を賄うことができず、石炭火力発電などの機動性の高い電源に頼る必要があることが示唆された。

しかしながら、各分析結果の項目で示したように、データの制約や調査期間の制約から、検討課題がいくつか挙げられる。具体的には、分析 1(対応項目 2-1.)では、まず本検討の検討範囲について、調査期間の制約からヨーロッパに対象を絞り分析を実施した。即ち、上記の分析結果が必ずしも地理的・経済的に異なるアジアや日本にも同様に当てはまるとは言えないため、更に調査を進める必要がある。次に、欧州における化石燃料のサプライチェーンの切り替えにおいて他の燃料の需給状況のバッファとして石炭が果たした役割について、公開データの制約上から、緻密にヨーロッパ各国レベルのデータを入手し分析を実施できていない。よって、追加で当該のデータを入手し、分析することで、結論に至る論証をサポートできる余地がある。最後に、本項で行った分析は先行研究を踏まえた上で、分析手法を検討し分析を進めたが、短期間の事業であったため、更に適切な先行研究や分析をサポートする情報がある可能性がある。したがって、限られた情報のなかでのウクライナ侵略時の分析に結論は留まっている。

次に、分析 2(対応項目 2-2.)では、シミュレーション対象について天然ガスの最小稼働率を用いて算出しているものの、異常気象による渇水の場合のように、水力・原子力など複数の電力源の稼働率が同時に著しく減少する場合もあり得る。今回のシミュレーションでは、このようは複数の電力構成が同時に最小稼働となった場合のシミュレーションはデータの制約から実施しておらず、取得可能な天然ガスの最小稼働データを中心に分析を進めた。したがって、その他エネルギー源の最小稼働のデータも取得し分析を進めることで、更に精緻な分析が可能となる。

最後に、分析 3(対応項目 2-3.)では、今回はデータと調査期間の制約から、年率平均値を2024 年の実績に乗じることで算出を行った。しかしながら、昨今のデータセンダーをはじめとする電力需要の高まりや、技術革新による消費電力の減少など、需給予測をする上でパラメーターを組み込んだ統計的な予測手法を採用していない。したがって、電力需給に影響を及ぼすパラメーターを考慮し、分析をすることで、今回得られた分析結果と異なる結果が得られる可能性があることに留意されたい。

● Appendix.

① 本編に関連するバックデータの一部

Appendix. 図表 1. 2022 年のヨーロッパにおける天然ガス輸入量と輸入先
(単位 : Million cubic metres)

TIME	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
Total	51991.24	48288.22	59267.67	56196.82	57444.65	49483.48	48837.41	47118.67	42727.85	46032.69	42851.25	45973.78
Norway	7746.408	7046.431	7807.611	7689.682	7947.653	7802.612	7988.425	8006.238	7386.823	8071.41	7821.37	8071.465
Algeria	0	0	0	0	1938.12	2093.559	2069.768	2088.915	2626.939	2450.218	2734.485	3298.877
Russia	7066.883	6878.163	8240.064	7423.547	7422.943	5754.565	3656.686	3384.801	2120.535	2065.872	2118.284	2542.197
Tunisia	0	0	0	0	2049	1947	1703	1951	2149	2002	1920	2301
Qatar	0	0	0	0	2776.107	1856.031	3369.026	2689.792	2077.744	2868.551	2697.651	2227.903
United States	2662.56	3081.842	3850.123	3338.448	3192.046	4135.14	2968.5	3632.355	2569.303	3561.261	2225.626	2184.25
United Kingdom	848.342	883.983	1341.003	2445.007	3004.656	2485.869	2583.361	2475.086	2544.018	2555.157	1589.835	1679.845
Angola	0	0	0	0	176.785	79.704	92.542	101.381	994.139	0	156.794	1414.004
Ukraine	0	0	0	0	1901.28	1140.683	1130.37	1105.425	1090.266	1046.153	1136.642	1313.433
Türkiye	0	0	0	0	973.66	982.879	1062.726	886.071	996.808	1062.472	1005.749	1065.355
Nigeria	0	0	1567.244	0	1421.189	602.835	917.844	973.687	637.083	754.684	1279.113	959.281
Egypt	0	110.617	0	0	518.121	88.863	285.603	312.399	87.029	287.647	476.312	879.349
Albania	0	0	0	0	904	918	924	837	917	946	869	808
Switzerland	0	0	0	0	984.512	521.838	1411.647	770.978	730.916	752.2	712.806	687.866
Serbia	0	0	0	0	419.3	297.1	505.4	569.7	600.7	521.7	287.4	393
Libya	0	0	0	0	239	198	199	194	185	284	272	295
Belarus	0	0	0	0	171.067	114.6	111.6	143.9	66.7	89	173.4	231.8
Trinidad and Tobago	0	0	0	115.107	142.339	525.074	242.244	313.626	223.315	205.917	550.041	213.153
Equatorial Guinea	0	0	0	0	96	123.916	94.878	37.354	58.693	230.167	97	104.959
Cameroon	0	0	0	0	0	133.395	0	0	90.326	149.135	137.803	92.176
Azerbaijan	0	0	0	0	26.015	25.187	74.596	38.477	72.076	81.987	78.719	81.987
Not specified	84	9.704	43.427	104.708	3.498	119.856	247.852	4.366	4.637	11.523	11.564	48.404
Mozambique	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	48.196
Gibraltar	0	0	0	0	0.674	1.675	1.613	0	0	0	0.685	2.349
Jamaica	0	0	0	0	0	0	13.989	0	0	0	0	0
Peru	0	0	0	0	96.022	0	0	0	0	0	74.711	0
Indonesia	0	0	0	0	0	0	0	0	13.723	0	0	0
Malaysia	0	0	0	0	0	0	0	0	6.976	0	0	0
Oman	0	0	0	0	0	0.008	0	0	99.65	87.072	170.1	0
Australia	0	0	0	0	0	0	0	0	5.186	0	160.09	0

(Eurostat : [Imports of natural gas by partner country - monthly data](#) より NTTD 作成。EU 加盟 27 か国の総計値)

Appendix. 図表 2. 2022 年のヨーロッパにおける LNG 輸入量と輸入先
(単位 : Million cubic metres)

TIME	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
Total	10090.55	9206.58	10991.97	11266.57	11716.49	11306.68	11343.88	10843.77	9975.297	11425.27	11881.5	12715.86
Algeria	0	0	0	0	1315.249	1440.281	1307.282	1277.081	1918.712	1755.876	2165.857	2444.45
Qatar	0	0	0	0	2776.107	1856.031	3369.026	2689.792	2075.744	2868.551	2697.651	2227.903
United States	2662.56	3081.842	3850.123	3338.448	3192.046	4135.14	2968.5	3632.355	2569.303	3561.261	2225.526	2184.25
Angola	0	0	0	0	176.785	79.704	92.542	101.381	994.139	0	156.794	1414.004
Russia	1173.528	1196.376	1898.874	1708.994	1472.757	2086.787	1403.923	1136.263	925.794	1074.334	1262.207	1382.571
Nigeria	0	0	1567.244	0	1421.189	602.835	917.844	973.687	637.083	754.684	1279.113	959.281
Egypt	0	110.617	0	0	518.121	88.863	285.603	312.399	87.029	287.647	476.312	879.349
Norway	0	0	0	0	93.35	129.684	201.223	242.57	234.634	285.177	355.732	488.626
Spain	0	0	0	0	0	0	0	85	26.1	142.995	62	271.315
Trinidad and Tobago	0	0	0	115.107	142.339	525.074	242.244	313.626	223.315	205.917	550.041	213.153
Equatorial Guinea	0	0	0	0	96	123.916	94.878	37.354	58.693	230.167	97	104.959
Cameroon	0	0	0	0	0	133.395	0	0	90.326	149.135	137.803	92.176
Mozambique	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	48.196
Gibraltar	0	0	0	0	0.674	1.675	1.613	0	0	0	0.685	2.349
Lithuania	0	0	0	0	0.989	1.233	0.862	9.841	1.037	1.31	1.658	1.701
Netherlands	0	0	0	0	0.344	0.769	0.628	5.178	5.38	5.81	1.063	1.11
Estonia	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.024	0.233
Belgium	0	0	0	0	0.511	0.052	0.052	0	0	0.882	1.365	0.133
Finland	0	0	0	0	2.659	0	0.078	0	0.078	5.651	0.027	0.052
Italy	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.026
France	0	0	0	0	0	0	0	0.176	0.569	0.289	0.078	0.025
Germany	0	0	0	0	0	0.078	0	0.129	0	0	0	0
Greece	0	0	0	0	0	0	197.655	0	0	0	0	0
Hungary	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.027	0.026	0
United Kingdom	142.636	52.13	40.564	2.883	410.767	0	0	0	0	0	0	0
Jamaica	0	0	0	0	0	0	13.989	0	0	0	0	0
Peru	0	0	0	0	96.022	0	0	0	0	0	74.711	0
Indonesia	0	0	0	0	0	0	0	0	13.723	0	0	0
Malaysia	0	0	0	0	0	0	0	0	6.976	0	0	0
Oman	0	0	0	0	0	0.008	0	0	99.65	87.072	170.1	0
Australia	0	0	0	0	0	0	0	0	5.186	0	160.09	0
Not specified	73.482	1.803	9.028	99.418	0.578	101.152	245.936	2.614	1.827	8.489	5.639	0

(Eurostat ; [Imports of natural gas by partner country - monthly data](#) より NTTD 作成。EU 加盟 27 か国の総計値)

Appendix. 図表 3. 2022 年のヨーロッパにおける石油及び石油製品輸入量と輸入先
(単位 : Thousand tonnes)

TIME	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
Total	66019.23	62339.65	64939.02	66785.28	69376.4	66325.4	70605.44	67280.85	66947.61	68388.82	66819.62	70230.24
Russia	15723.74	15189.34	13712.79	12670.61	11537.06	11114.82	11426.77	9789.056	9799.669	7897.562	8270.885	6252.374
Norway	4307.951	4260.479	4590.07	4942.553	5482.518	4659.256	5560.763	5685.932	5164.038	4974.69	5607.269	6174.17
United States	4910.567	4998.106	4885.898	5436.05	6629.328	5043.97	6091.505	6791.756	4987.421	5456.312	5768.732	6160.766
Saudi Arabia	2947.766	2162.315	2554.672	3588.747	3692.392	3669.767	4093.885	3946.154	4958.068	4400.786	4154.669	5256.037
Kazakhstan	3763.913	3451.034	3319.855	3049.911	3022.885	2487.454	3102.836	3167.987	2312.216	2513.168	2955	4293.442
Netherlands	3502.25	3001.43	3576.51	3580.643	3466.418	3512.969	3475.79	3460.225	3780.73	4126.712	3572.254	3613.115
Libya	1912.394	3085.79	2724.723	3224.944	2201.395	1766.1	1461.359	2417.444	2613.232	3522.677	2532.828	3067.547
Iraq	2307.43	2806.108	2766.297	2376.802	3648.324	3167.922	4055.227	3362.206	3525.745	3102.152	3630.094	2831.093
Belgium	3618.449	2412.393	2897.578	2529.754	2987.186	3440.666	2962.542	2759.603	3233.385	3363.329	3211.994	2774.368
Nigeria	2151.454	2213.191	2713.626	2397.73	2404.47	2875.011	2003.482	1862.899	1406.603	1864.625	2405.639	2526.034
United Kingdom	2408.057	1937.009	2164.818	2323.9	2345.2	2486.504	2229.496	2248.568	2183.976	2118.809	1863.485	2358.066
Germany	2027.439	2250.585	2220.777	2352.837	2327.827	2324.096	2347.419	2081.027	1759.993	2295.928	2446.445	2071.501
Azerbaijan	1745.528	1752.536	1216.993	1517.933	1633.225	1346.827	1856.633	1459.431	1812.441	1769.712	1906.512	1992.727
Algeria	1827.429	1351.739	1221.948	1617.62	2120.788	1543.158	1702.881	1127.746	1651.05	1744.689	1566.797	1961.809
Not specified	1379.801	1589.234	1416.078	1635.51	1537.495	1289.415	1540.443	1493.884	1511.709	1547.286	1424.533	1331.233
Angola	137.615	126	551.459	525.083	897.381	1630.245	1442.842	1401.423	772.752	1331.904	1383.525	1209.382
Italy	1205.797	786.498	1167.283	1195.623	1046.16	946.423	1075.341	1446.675	1043.36	1312.327	843.831	998.85
Brazil	509.35	733.045	1142.054	693.694	1100.272	2064.066	1795.174	780.749	1280.555	1213.229	894.181	987.044
France	613.538	738.074	662.251	742.704	714.769	642.628	823.161	720.394	793.116	467.311	695.958	941.202
Spain	775.239	522.134	893.128	723.765	663.227	770.131	1236.772	955.196	809.707	950.699	687.015	857.601
India	91.301	83.096	377.731	535.654	319.869	107.225	320.546	410.604	206.074	920.753	360.534	830.292
Sweden	635.521	620.463	713.684	679.749	752.686	1016.835	688.227	691.56	550.792	500.758	648.657	725.022
Canada	201.416	197.723	144.127	304.81	381.632	553.216	544.229	259.081	426.705	613.087	618.633	708.598
United Arab Emirates	664.891	192.586	277.566	260.427	541.974	1011.961	486.811	971.144	548.046	845.573	843.026	676.569
Mexico	646.596	426.407	432.621	361.94	362.593	427.04	448.394	623.115	429.765	436.247	991.41	635.041
China	28.69	46.006	159.957	117.278	321.895	70.723	80.002	155.253	329.374	557.117	234.05	622.996
Other American countries	44.104	31.217	11.004	5.002	117.702	396.586	817.914	396.043	898.845	920.643	372.176	596.158
Denmark	114.831	435.502	384.104	288.679	266.639	497.309	483.352	431.466	482.149	244.991	298.872	432.958
Greece	270.934	316.445	188.897	353.94	513.43	280.556	336.043	420.482	246.892	443.578	354.31	430.283
Gabon	59.935	13.967	0	378.622	273.001	138.421	307.41	215.494	161.655	86.921	69.094	427.278
Finland	482.517	251.466	603.639	242.535	261.38	322.963	303.994	317.547	624.138	297.409	341.127	424.585
Lithuania	368.69	445.995	622.441	452.843	384.577	137.105	244.545	441.312	376.058	521.99	270.129	415.172
Egypt	184.775	426.123	411.695	531.341	217.074	518.906	328.479	354.271	624.429	498.149	383.812	360.006
Qatar	265.849	85.38	33.817	159.217	149.584	95.499	82.734	130.562	191.682	250.971	225.34	301.774

(Eurostat : Imports of oil and petroleum products by partner country - monthly data より NTTD 作成。EU 加盟 27 国の総計値。一

部省略、詳細は定量的調査データを参照)

Appendix. 図表 4. EU の 2022 年における月別エネルギー源発電量・割合
(単位：上段 GWh、下段%)

エネルギー源	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
その他	6485	6397	6867	6560	5688	5170	4923	4799	4721	5056	5413	6616
その他の再生可能エネルギー	366.1	332.3	371.8	349	363.1	333.3	337.5	324.7	326.1	341.1	324.8	330.4
バイオマス	7257	6622	7315	6823	6583	6201	6344	6369	6492	6357	6603	7122
化石燃料（オイルシール）	462.8	279.3	478.3	237.9	304.2	277.1	256.5	227.8	345.7	356.6	444.4	481.2
化石燃料（褐炭／亜炭）	20685	16402	21813	17526	17431	18257	18611	19232	18142	17862	19157	19540
化石燃料（硬質炭）	19557	15525	20736	14429	12336	13876	15301	16544	17548	13674	17674	22063
化石燃料（石炭由来ガス）	630.6	452.1	567.4	496.5	524	655.8	643.7	630.5	633.1	605.8	591.3	649.9
化石燃料（石油）	1703	1316	1444	1070	1131	907.7	986.1	895.9	1183	1256	1215	1346
化石燃料（泥炭）	585.3	474.5	459.2	369.8	403.1	295.9	161.8	226.5	200.2	264	340	460.8
化石燃料（天然ガス）	47644	36548	40965	28356	29694	34208	38532	37445	33971	35840	34825	41074
河川流れ込み式水力発電	13550	10713	10926	13493	16118	13775	11446	9733	9675	10272	10998	13046
原子力	63610	54740	54457	47324	42710	42678	43901	43294	42881	43579	46340	54352
太陽光発電	5643	8275	13405	16447	21028	21312	22289	20398	14854	11385	6361	3918
地熱発電	502.1	453	495.4	477.5	480.1	444.7	468.2	471.5	456.1	472.5	459.5	478.6
貯水式水力発電	11902	9352	10508	9721	9830	9878	10073	9723	9108	7896	10032	12426
揚水式水力発電	2930	2412	2829	2611	2537	2663	2837	2591	2665	2889	3182	3978
洋上風力発電	5667	6133	2885	3798	2923	2312	3157	1973	3587	4630	5621	5094
陸上風力発電	39876	44678	30396	31559	23741	18761	21509	18520	22933	31093	34945	34331
合計	249056	221104	226918	201648	193825	192006	201777	193398	189721	193829	204526	227307
エネルギー源	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
その他	2.6%	2.9%	3.0%	3.3%	2.9%	2.7%	2.4%	2.5%	2.5%	2.6%	2.6%	2.9%
その他の再生可能エネルギー	0.1%	0.2%	0.2%	0.2%	0.2%	0.2%	0.2%	0.2%	0.2%	0.2%	0.2%	0.1%
バイオマス	2.9%	3.0%	3.2%	3.4%	3.4%	3.2%	3.1%	3.3%	3.4%	3.3%	3.2%	3.1%
化石燃料（オイルシール）	0.2%	0.1%	0.2%	0.1%	0.2%	0.1%	0.1%	0.1%	0.2%	0.2%	0.2%	0.2%
化石燃料（褐炭／亜炭）	8.3%	7.4%	9.6%	8.7%	9.0%	9.5%	9.2%	9.9%	9.6%	9.2%	9.4%	8.6%
化石燃料（硬質炭）	7.9%	7.0%	9.1%	7.2%	6.4%	7.2%	7.6%	8.6%	9.2%	7.1%	8.6%	9.7%
化石燃料（石炭由来ガス）	0.3%	0.2%	0.3%	0.2%	0.3%	0.3%	0.3%	0.3%	0.3%	0.3%	0.3%	0.3%
化石燃料（石油）	0.7%	0.6%	0.6%	0.5%	0.6%	0.5%	0.5%	0.5%	0.6%	0.6%	0.6%	0.6%
化石燃料（泥炭）	0.2%	0.2%	0.2%	0.2%	0.2%	0.2%	0.1%	0.1%	0.1%	0.1%	0.2%	0.2%
化石燃料（天然ガス）	19.1%	16.5%	18.1%	14.1%	15.3%	17.8%	19.1%	19.4%	17.9%	18.5%	17.0%	18.1%
河川流れ込み式水力発電	5.4%	4.8%	4.8%	6.7%	8.3%	7.2%	5.7%	5.0%	5.1%	5.3%	5.4%	5.7%
原子力	25.5%	24.8%	24.0%	23.5%	22.0%	22.2%	21.8%	22.4%	22.6%	22.5%	22.7%	23.9%
太陽光発電	2.3%	3.7%	5.9%	8.2%	10.8%	11.1%	11.0%	10.5%	7.8%	5.9%	3.1%	1.7%
地熱発電	0.2%	0.2%	0.2%	0.2%	0.2%	0.2%	0.2%	0.2%	0.2%	0.2%	0.2%	0.2%
貯水式水力発電	4.8%	4.2%	4.6%	4.8%	5.1%	5.1%	5.0%	5.0%	4.8%	4.1%	4.9%	5.5%
揚水式水力発電	1.2%	1.1%	1.2%	1.3%	1.3%	1.4%	1.4%	1.3%	1.4%	1.5%	1.6%	1.8%
洋上風力発電	2.3%	2.8%	1.3%	1.9%	1.5%	1.2%	1.6%	1.0%	1.9%	2.4%	2.7%	2.2%
陸上風力発電	16.0%	20.2%	13.4%	15.7%	12.2%	9.8%	10.7%	9.6%	12.1%	16.0%	17.1%	15.1%

(Fraunhofer ISE；Public net electricity generation in the European Union より NTTD 作成。EU 加盟 27 各国の総計値)

Appendix. 図表 5. EU の 2022 年におけるエネルギー源別発電量の先月差
(単位：GWh)

エネルギー源	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
その他		-88	470	-307	-872	-518	-247	-124	-78	335	357	1203
その他の再生可能エネルギー		-33.8	39.5	-22.8	14.1	-29.8	4.2	-12.8	1.4	15	-16.3	5.6
バイオマス		-635	693	-492	-240	-382	143	25	123	-135	246	519
化石燃料（オイルシール）		-183.5	199	-240.4	66.3	-27.1	-20.6	-28.7	117.9	10.9	87.8	36.8
化石燃料（褐炭／亜炭）		-4283	5411	-4287	-95	826	354	621	-1090	-280	1295	383
化石燃料（硬質炭）		-4032	5211	-6307	-2093	1540	1425	1243	1004	-3874	4000	4389
化石燃料（石炭由来ガス）		-178.5	115.3	-70.9	27.5	131.8	-12.1	-13.2	2.6	-27.3	-14.5	58.6
化石燃料（石油）		-387	128	-374	61	-223.3	78.4	-90.2	287.1	73	-41	131
化石燃料（泥炭）		-110.8	-15.3	-89.4	33.3	-107.2	-134.1	64.7	-26.3	63.8	76	120.8
化石燃料（天然ガス）		-11096	4417	-12609	1338	4514	4324	-1087	-3474	1869	-1015	6249
河川流れ込み式水力発電		-2837	213	2567	2625	-2343	-2329	-1713	-58	597	726	2048
原子力		-8870	-283	-7133	-4614	-32	1223	-607	-413	698	2761	8012
太陽光発電		2632	5130	3042	4581	284	977	-1891	-5544	-3469	-5024	-2443
地熱発電		-49.1	42.4	-17.9	2.6	-35.4	23.5	3.3	-15.4	16.4	-13	19.1
貯水式水力発電		-2550	1156	-787	109	48	195	-350	-615	-1212	2136	2394
揚水式水力発電		-518	417	-218	-74	126	174	-246	74	224	293	796
洋上風力発電		466	-3248	913	-875	-611	845	-1184	1614	1043	991	-527
陸上風力発電		4802	-14282	1163	-7818	-4980	2748	-2989	4413	8160	3852	-614
合計		-27952	5813.9	-25270	-7823.2	-1819	9771.3	-8378.9	-3676.7	4107.8	10697	22780.9

(Fraunhofer ISE；Public net electricity generation in the European Union より NTTD 作成。EU 加盟 27 各国の総計値)

Appendix. 図表 6. EU の 2021 年におけるエネルギー源別発電量の先月差
(単位：GWh)

エネルギー源	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
その他		-657	721	-377	-130	-822	-130	-48	-104	360	7	973
その他の再生可能エネルギー		-40.2	44.1	-31.6	11.5	-16.9	11.8	-4.7	-10.3	12.8	1.1	3.6
バイオマス		-756	492	-280	-134	-627	-124	314	69	583	117	283
化石燃料（オイルシェール）		35.1	-248.9	20.6	10.3	91.5	43.3	-69.3	123.2	-26.5	98.3	164.4
化石燃料（褐炭／亜炭）		-4114	556	-878	-2718	2069	884	1384	855	1277	658	1657
化石燃料（硬質炭）		-4685	-60	-2131	-2598	1335	2586	-1294	5595	-1267	3148	239
化石燃料（石炭由来ガス）		-175.6	41	108.4	67.7	-28.3	15.4	75	-132.7	66.6	6.5	13.1
化石燃料（石油）		-223	12	-115	69	118	240	-123	-250	154	-34	74
化石燃料（泥炭）		5.4	-142.5	-70.3	-10.5	-119.1	-93.01	154.81	38.1	-6.5	163.3	224.2
化石燃料（天然ガス）		-9155	3407	-2742	-10988	7019	765	-6267	7166	-827	15622	-2155
河川流れ込み式水力発電		1009	-1461	-1173	5572	-353	-2083	-1824	-4172	-1139	172	2566
原子力		-9411	3462	-7998	-1049	-324	4022	716	-879	2788	-725	2597
太陽光発電		2593	5385	1999	2558	1554	-570	-1526	-2604	-3183	-4734	-1138
地熱発電		-38.6	49.1	-18.9	7.2	-16.4	16.8	-5.7	-3.6	19.1	-22.6	20
貯水式水力発電		-880	-2756	-2576	1034	-643	-50	-691	-1824	-217	1513	2919
揚水式水力発電		-68	-429	-446	63	135	-236	390	-237	250	426	206
洋上風力発電		917	-853	-803	-660	-813	642	1103	-1108	2924	-843	372
陸上風力発電		-1808	286	-5790	2088	-12788	4108	1820	-3017	13824	-1972	7377
合計		-27452	8504.8	-23302	-6806.8	-4229.2	10048.3	-5895.9	-495.3	15592.5	13601.6	16395.3

(Fraunhofer ISE；[Public net electricity generation in the European Union](#) より NTTD 作成。EU 加盟 27 各国の総計値)

Appendix. 図表 7 EU の 2022 年における石炭以外の発電量余力（単位：GWh）

エネルギー源別	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
その他	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
その他の再生可能エネルギー	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
バイオマス	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
化石燃料（オイルシェール）	178	270	171	295	273	201	234	331	195	230	154	96
化石燃料（石炭由来ガス）	635	671	636	858	886	675	477	774	771	880	864	778
化石燃料（石油）	0	125	8	268	276	616	777	744	209	289	296	239
化石燃料（泥炭）	181	207	192	185	93	62	182	155	332	381	364	185
化石燃料（天然ガス）	930	1,040	0	8,062	1,115	475	5,846	4,917	6,531	8,678	14,236	5,806
河川流れ込み式水力発電	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
原子力	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
太陽光発電	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
地熱発電	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
貯水式水力発電	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
揚水式水力発電	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
洋上風力発電	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
陸上風力発電	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
合計	1,924	2,313	1,007	9,668	2,642	2,030	7,515	6,921	8,038	10,458	15,914	7,103

(Fraunhofer ISE；[Public net electricity generation in the European Union](#)、

[Net installed electricity generation capacity in the European Union](#) より NTTD 作成。EU 加盟 27 各国の総計値)

Appendix. 図表 8 EU の 2022 における年エネルギー源別実際発電量（単位：GWh）

エネルギー源別	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
その他	6,485	6,397	6,867	6,560	5,688	5,170	4,923	4,799	4,721	5,056	5,413	6,616
その他の再生可能エネルギー	366	332	372	349	363	333	338	325	326	341	325	330
バイオマス	7,257	6,622	7,315	6,823	6,583	6,201	6,344	6,369	6,492	6,357	6,603	7,122
化石燃料（オイルシェール）	463	279	478	238	304	277	257	228	346	357	444	481
化石燃料（褐炭／亜炭）	20,685	16,402	21,813	17,526	17,431	18,257	18,611	19,232	18,142	17,862	19,157	19,540
化石燃料（硬質炭）	19,557	15,525	20,736	14,429	12,336	13,876	15,301	16,544	17,548	13,674	17,674	22,063
化石燃料（石炭由来ガス）	631	452	567	497	524	656	644	631	633	606	591	650
化石燃料（石油）	1,703	1,316	1,444	1,070	1,131	908	986	896	1,183	1,256	1,215	1,346
化石燃料（泥炭）	585	475	459	370	403	296	162	227	200	264	340	461
化石燃料（天然ガス）	47,644	36,548	40,965	28,356	29,694	34,208	38,532	37,445	33,971	35,840	34,825	41,074
河川流れ込み式水力発電	13,550	10,713	10,926	13,493	16,118	13,775	11,446	9,733	9,675	10,272	10,998	13,046
原子力	63,610	54,740	54,457	47,324	42,710	42,678	43,901	43,294	42,881	43,579	46,340	54,352
太陽光発電	5,643	8,275	13,405	16,447	21,028	21,312	22,289	20,398	14,854	11,385	6,361	3,918
地熱発電	502	453	495	478	480	445	468	472	456	473	460	479
貯水式水力発電	11,902	9,352	10,508	9,721	9,830	9,878	10,073	9,723	9,108	7,896	10,032	12,426
揚水式水力発電	2,930	2,412	2,829	2,611	2,537	2,663	2,837	2,591	2,665	2,889	3,182	3,978
洋上風力発電	5,667	6,133	2,885	3,798	2,923	2,312	3,157	1,973	3,587	4,630	5,621	5,094
陸上風力発電	39,876	44,678	30,396	31,559	23,741	18,761	21,509	18,520	22,933	31,093	34,945	34,331
合計	249,056	221,104	226,918	201,648	193,825	192,006	201,777	193,398	189,721	193,829	204,526	227,307

(Fraunhofer ISE ; Public net electricity generation in the European Union、

Net installed electricity generation capacity in the European Union より NTTD 作成。EU 加盟 27 か国の総計値)

Appendix. 図表 9 EU の 2022 年におけるエネルギー源別実際稼働率（単位：%）

エネルギー源別	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
その他	59.3%	64.8%	62.8%	62.0%	52.0%	48.8%	45.0%	43.9%	44.6%	46.2%	51.1%	60.5%
その他の再生可能エネルギー	32.8%	33.0%	33.3%	32.3%	32.5%	30.9%	30.2%	29.1%	30.2%	30.6%	30.1%	29.6%
バイオマス	48.5%	49.0%	48.9%	47.1%	44.0%	42.8%	42.4%	42.5%	44.8%	42.5%	45.6%	47.6%
化石燃料（オイルシェール）	46.8%	31.3%	48.3%	24.8%	30.7%	28.9%	25.9%	23.0%	36.1%	36.0%	46.4%	48.6%
化石燃料（褐炭／亜炭）	63.7%	55.9%	67.2%	55.8%	53.7%	58.1%	57.3%	59.2%	57.7%	55.0%	61.0%	60.2%
化石燃料（硬質炭）	44.1%	38.8%	46.8%	33.6%	27.8%	32.3%	34.5%	37.3%	40.9%	30.8%	41.2%	49.7%
化石燃料（石炭由来ガス）	30.2%	23.9%	27.1%	24.5%	25.1%	32.4%	30.8%	30.2%	31.3%	29.0%	29.2%	31.1%
化石燃料（石油）	16.8%	14.4%	14.2%	10.9%	11.2%	9.2%	9.7%	8.8%	12.1%	12.4%	12.4%	13.3%
化石燃料（泥炭）	56.6%	50.8%	44.4%	37.0%	39.0%	29.6%	15.6%	21.9%	20.0%	25.5%	34.0%	44.6%
化石燃料（天然ガス）	35.2%	29.9%	30.3%	21.7%	22.0%	26.1%	28.5%	27.7%	26.0%	26.5%	26.6%	30.4%
河川流れ込み式水力発電	41.9%	36.7%	33.8%	43.1%	49.9%	44.0%	35.4%	30.1%	30.9%	31.8%	35.2%	40.4%
原子力	87.5%	83.4%	74.9%	67.3%	58.8%	60.7%	60.4%	59.6%	61.0%	60.0%	65.9%	74.8%
太陽光発電	4.6%	7.4%	10.9%	13.8%	17.1%	17.9%	18.1%	16.6%	12.5%	9.3%	5.3%	3.2%
地熱発電	75.0%	74.9%	74.0%	73.7%	71.7%	68.6%	69.9%	70.4%	70.4%	70.6%	70.9%	71.5%
貯水式水力発電	26.7%	23.2%	23.5%	22.5%	22.0%	22.9%	22.6%	21.8%	21.1%	17.7%	23.2%	27.8%
揚水式水力発電	10.0%	9.1%	9.6%	9.2%	8.6%	9.4%	9.7%	8.8%	9.4%	9.8%	11.2%	13.5%
洋上風力発電	46.2%	55.4%	23.5%	32.0%	23.9%	19.5%	25.8%	16.1%	30.2%	37.8%	47.4%	41.6%
陸上風力発電	29.2%	36.2%	22.2%	23.8%	17.4%	14.2%	15.7%	13.5%	17.3%	22.7%	26.4%	25.1%

(Fraunhofer ISE ; Public net electricity generation in the European Union、

Net installed electricity generation capacity in the European Union より NTTD 作成。EU 加盟 27 か国の総計値)

Appendix. 図表 10 EU の 2015 年～2024 年化石燃料同月稼働率の最大値（単位：％）

エネルギー源別	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
化石燃料（オイルシェール）	64.7%	61.5%	65.6%	55.6%	58.3%	49.9%	49.6%	56.5%	56.5%	59.2%	62.5%	58.3%
化石燃料（褐炭／亜炭）	69.5%	69.2%	67.2%	57.9%	57.7%	60.3%	63.5%	62.9%	65.1%	65.6%	68.3%	67.0%
化石燃料（硬質炭）	57.3%	52.3%	46.8%	40.6%	36.8%	39.2%	42.2%	39.5%	44.8%	49.3%	48.9%	49.7%
化石燃料（石炭由来ガス）	60.5%	59.5%	57.6%	67.0%	67.4%	65.8%	53.6%	67.2%	69.4%	71.1%	71.9%	68.3%
化石燃料（石油）	16.8%	15.7%	14.3%	13.6%	13.9%	15.5%	17.4%	16.2%	14.2%	15.2%	15.4%	15.6%
化石燃料（泥炭）	74.1%	72.9%	62.9%	55.4%	48.0%	35.8%	33.3%	36.9%	53.2%	62.3%	70.4%	62.5%
化石燃料（天然ガス）	35.9%	30.8%	30.3%	27.8%	22.8%	26.5%	32.8%	31.3%	31.0%	32.9%	37.5%	34.7%

（Fraunhofer ISE；Public net electricity generation in the European Union、

Net installed electricity generation capacity in the European Union より NTTD 作成。EU 加盟 27 国の総計値）

Appendix. 図表 11 EU の 2030 年における石炭以外の発電量余力の予測値（単位：GWh）

エネルギー源別	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
その他	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
その他の再生可能エネルギー	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
バイオマス	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
化石燃料（オイルシェール）	321	350	427	376	400	311	333	412	373	409	420	379
化石燃料（褐炭／亜炭）												
化石燃料（硬質炭）												
化石燃料（石炭由来ガス）	1,292	784	1,150	1,467	1,858	1,462	95	1,076	1,902	1,761	1,930	1,515
化石燃料（石油）	160	367	377	443	527	831	1,142	803	674	704	162	993
化石燃料（泥炭）	0	110	115	38	124	135	140	167	231	240	250	202
化石燃料（天然ガス）	5,967	12,037	14,596	19,556	12,414	13,713	19,081	11,044	16,850	21,340	4,186	1,942
河川流れ込み式水力発電	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
原子力	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
太陽光発電	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
地熱発電	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
貯水式水力発電	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
揚水式水力発電	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
洋上風力発電	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
陸上風力発電	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
合計	7,739	13,648	16,665	21,880	15,324	16,453	20,791	13,502	20,030	24,454	6,948	5,032

（Fraunhofer ISE；Public net electricity generation in the European Union、

Net installed electricity generation capacity in the European Union より NTTD 作成。EU 加盟 27 国の総計値）

② Z 検定の検定プロセスについて

本節では、第 2 章で用いた Z 検定の手法について補足説明を行う。

Z 検定とは、標本の平均が既知の母集団の平均や別の標本と有意に異なるかどうかを判定するための統計的仮説検定の一種である。一般に、サンプルサイズが十分に大きい ($n \geq 30$) 場合や、母集団の標準偏差が既知または標本から推定できる場合に使用される。

本報告書では、2022 年 3 月における石炭火力発電量の増加が、過去 3 年間 (2020～2022 年) の月平均と比べて統計的に有意に異なっているかを評価するために Z 検定を適用した。

今回の検定における仮説は以下の通り：

- 帰無仮説 (H_0)： 2022 年 3 月の値は過去の平均と有意な差がない
- 対立仮説 (H_1)： 2022 年 3 月の値は過去の平均と有意な差がある

検定統計量の計算

- Z 検定の統計量は以下の式で算出される

$$Z = (X - \mu) / \sigma$$

ここで：

- X = 2022 年 3 月の観測値
- μ = 2020 年～2022 年の平均値 (ただし 3 月を除く)
- σ = 上記の標準偏差

結果の解釈

- Z 値が受容域の外 (例：両側検定で有意水準 5% の場合、 $|Z| > 1.96$) にある場合、帰無仮説は棄却され、その観測値は統計的に有意と見なされる。
- 本報告書においては、2022 年 3 月の褐炭および硬質炭の Z 値がいずれも 5% 水準の臨界値を上回っており、過去の水準と比較して発電量の増加が統計的に有意であったと示唆される。

個別の計算プロセスは下記。

(1) 化石燃料 (褐炭／亜炭)

- 与えられたデータ
 - 3 月の増加率 (観測値)： $x = 0.021945$
 - 他の月の平均値： $\mu = -0.000358$
 - 標準偏差： $\sigma = 0.006645$
 - Z スコアの算出式

$$\diamond Z = \frac{x-\mu}{\sigma} = \frac{0.021945-(-0.000358)}{0.006645} \approx 3.356$$

➤ P 値の計算式（両側検定）

$$\diamond P = 2 \times (1 - \Phi(|Z|)) = 2 \times (1 - \Phi(3.356)) \approx 0.000789$$

※ $\Phi(|Z|)$ は標準正規分布の累積分布関数（CDF）

(2) 化石燃料（硬質炭）

● 与えられたデータ

➤ 3 月の増加率（観測値）： $x = 0.021165$

➤ 他の月の平均値： $\mu = 0.021165$

➤ 標準偏差： $\sigma = 0.010981$

➤ Z スコアの算出式

$$\diamond Z = \frac{x-\mu}{\sigma} = \frac{0.021165-0.021165}{0.010981} \approx 1.900$$

➤ P 値の計算式（両側検定）

$$\diamond P = 2 \times (1 - \Phi(|Z|)) = 2 \times (1 - \Phi(1.900)) \approx 0.057$$

※ $\Phi(|Z|)$ は標準正規分布の累積分布関数（CDF）

■ 参考情報一覧

※URL 最終閲覧日：2025/3/31

- REPowerEU: Joint European action for more affordable, secure and sustainable energy
https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/ip_22_1511
- エネルギー・金属鉱物資源機構（JOGMEC）「天然ガス・LNG 最新動向 —2023 年世界の LNG 貿易実績および中長期 LNG 価格イメージと LNG 調達戦略・欧州ガス政策へのインプリケーション—」
https://oilgas-info.jogmec.go.jp/_res/projects/default_project/_page_/001/010/005/2401_c_00_eu_implication_r.pdf
- 三菱 UFJ リサーチ&コンサルティング「EU における化石燃料の「脱ロシア化」の進捗状況」 https://www.murc.jp/wp-content/uploads/2023/02/report_230208_01.pdf
- みずほリサーチ&テクノロジーズ「欧州ガス高は 2023 年も継続」
<https://www.mizuho-rt.co.jp/publication/2022/pdf/express-mk220815.pdf>
- 中央電力研究所ディスカッションペーパー「ロシアによるウクライナ侵略を踏まえた西側諸国のエネルギーを巡る対応」
<https://criepi.denken.or.jp/jp/serc/research/files/156/pdf/22003dp.pdf>
- エネルギー・金属鉱物資源機構「石炭需給及び価格動向（2024 年上半期）」
<https://coal.jogmec.go.jp/content/300390486.pdf>
- 自然エネルギー財団「欧州のエネルギー危機、自然エネルギーが電気料金の軽減に」
<https://www.renewable-ei.org/activities/column/REupdate/20220413.php>
- Global Energy Monitor「活況と不況－石炭（2022 年版）」
[BoomAndBustCoalPlants_2022_Japanese.pdf](https://www.globalenergymonitor.org/BoomAndBustCoalPlants_2022_Japanese.pdf)
- 資源エネルギー庁(2023)「エネルギー白書 2023」, p.34
- EU(2019)「欧州グリーンディール」 https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/priorities-2019-2024/european-green-deal_en
- EU(2022)「欧州気候法」 https://climate.ec.europa.eu/eu-action/european-climate-law_en
- European Commission(2022) 「Fit for 55 パッケージ」
<https://www.consilium.europa.eu/en/policies/fit-for-55/>
- JETRO(2022)「天然ガスなどロシア産エネルギーへの依存低減が喫緊の課題(ドイツ)」
<https://www.jetro.go.jp/biz/areareports/special/2022/0802/323204f3c49432d3.html>
- 時事用語事典「パワーとエネルギー／kW と kWh 」 <https://imidas.jp/genre/detail/K-108-0098.html>
- Fraunhofer ISE; Public net electricity generation in the European Union, <https://energy->

charts.info/charts/energy/chart.htm?l=en&c=EU&year=2024&month=01

- Fraunhofer ISE ; Public net electricity generation in the European Union, Net installed electricity generation capacity in the European Union, https://energy-charts.info/charts/installed_power/chart.htm?l=en&c=EU&chartColumnSorting=default
- Eurostat ; Imports of natural gas by partner country - monthly data, https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/nrg_ti_gasm__custom_16025007/default/table?lang=en
- Eurostat ; Imports of oil and petroleum products by partner country - monthly data, https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/nrg_ti_oilm__custom_16026873/default/table?lang=en
- Eurostat ; Imports of solid fossil fuels by partner country, https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/nrg_ti_sff/default/table?lang=en&category=nrg.nrg_quant.nrg_quanta.nrg_t.nrg_ti

二次利用未承諾リスト

ウクライナ侵略における石炭を通じた多層的なエネルギー供給がエネルギー安全保障に与えた
影響分析調査報告書

令和6年度燃料安定供給対策調査等事業

株式会社NTTデータ

[illegible]