

注目度高まる洋上風力発電事業におけるグリーンボンドの活用

～グリーンボンドは国内洋上風力発電市場の拡大のきっかけとなるか～



国際航業株式会社 環境保全部 地域エネルギーグループ
研究員 片上 衛

1. はじめに

パリ協定の「2℃目標」ⁱに向けて更なる温室効果ガス排出削減が必要になるなか、再生可能エネルギーの導入拡大は気候変動対策における重要施策である。日本においては、政府が2018年7月に第5次エネルギー基本計画を閣議決定した。パリ協定への対応やエネルギー情勢の変化を考慮した今回の基本計画では、再生可能エネルギー及び省エネルギー導入の更なる拡大による、2030年度におけるエネルギーミックスの実現と2050年に向けた脱炭素化を目指すシナリオが示されている。これまで国内の再生可能エネルギーは太陽光発電を中心に導入されてきたが、今後は大きな発電ポテンシャルを秘めた洋上風力発電への期待が高まる。洋上風力発電事業に係るコストが他の再生可能エネルギー事業よりも高い

ⁱ 2℃目標とは気候変動枠組条約締約国会議 COP21 で承認された、気候変動対策における世界全体の長期目標である。パリ協定では、「世界的な平均気温上昇を産業革命以前に比べ2℃未満より十分低く保つとともに、1.5℃に抑える努力を追求する」ことが記された。

ことを考慮するとⁱ、市場拡大の為には資金調達における戦略的アプローチが必要であり、公的資金だけでなく民間資金を最大限に活用することが求められる。

戸田建設株式会社は、浮体式洋上風力発電事業の事業者として、同事業を対象に 100 億円のグリーンボンド（Green Bond、以下 GB）を 2017 年 12 月 14 日に発行した。洋上風力発電事業者による GB 発行としては、国内初の事例である。国内では更なる洋上風力発電市場の拡大が求められており、洋上風力発電事業者による GB 活用の効果が注目される。

GB 市場の背景及び近年の発行事例については、当社発表の気候変動政策ブログ「世界で拡大しつつあるグリーンボンド市場～わが国における普及に向けた課題～」ⁱⁱを参照されたい。本稿では、はじめに GB の概要を説明し、次に洋上風力発電の特徴及び日本における導入課題、国内洋上風力発電の導入・計画状況を整理する。さらに、国内外の洋上風力発電事業者による GB 発行事例を紹介し、GB による国内洋上風力発電市場の拡大可能性について考察する。

2. グリーンボンド概要

グリーンボンド（GB）とは、政府・自治体及び民間企業が、気候変動対策などのグリーンプロジェクト（環境改善効果のある事業）に要する資金調達を目的に発行する債券である。GB の使途はグリーンプロジェクトに限定されており、調達資金の管理、発行後のレポートニングによって債券の透明化が図られている。2017 年における世界の GB 市場は前年の 810 億ドルから大幅に伸びて 1,555 億ドルⁱⁱⁱとなり、急激な市場規模の拡大が個人及び機関投資家から注目を浴びている。

環境省は 2017 年 3 月に「グリーンボンドガイドライン 2017 年版」を策定した。同ガイドラインは、「GB の市場の国際的な発展と歩調を合わせ、国内においても GB の認知度を高め、国内における GB の発行と投資をさらに拡大することを目指して策定した^{iv}」ものであり、GB を発行する上でのプロジェクトの評価方法や具体的な対応方法について解説している。パリ協定の「2°C 目標」を達成するためには、温室効果ガス排出量の大幅な削減が必要であり、気候変動対策の資金として、公的資金のみならず GB を含めた民間資金の有効活用が重要である。

ⁱ 2015 年に資源エネルギー庁の発電コストワーキンググループが試算した、2030 年における主な再生可能エネルギーの発電コストは、太陽光（非住宅）12.5～15.6 円/kWh、バイオマス（混焼）13.2 円/kWh、バイオマス（専焼）29.7 円/kWh、陸上風力 13.6～21.5 円/kWh であり、洋上風力は 30.3～34.7 円/kWh であった。

ⁱⁱ 山本（2017）。「世界で拡大しつつあるグリーンボンド市場～わが国における普及に向けた課題～」，
http://www.kkc.co.jp/service/env_energy/pdf/research_vol_05.pdf

ⁱⁱⁱ Climate Bonds Initiative（2018）. Green bond Highlights 2017，
<https://www.climatebonds.net/resources/reports/green-bond-highlights-2017>

^{iv} 環境省（2017）。「グリーンボンドガイドライン 2017 年版」，
http://greenbondplatform.env.go.jp/pdf/greenbond_guideline2017.pdf

3. 洋上風力発電の特徴及び日本における導入に向けた課題

風力発電の形式は陸上風力と洋上風力に分類され、さらに洋上風力は風車の基礎部を海底面に固定した「着床式」と海水面に浮かぶ「浮体式」に分けられる。洋上の風向や風速は陸上に比べて安定しており、四方を海で囲まれた日本は洋上風力発電を導入するための資源に恵まれていると言える。日本風力発電協会によると、着床式洋上風力発電のポテンシャル面積は全国で約 14,519km²、約 91GW の発電容量に相当しⁱ、これは年間約 6,640 万世帯ⁱⁱへの電力供給が可能な規模である。また、水深がより深い海域で設置可能な浮体式洋上風力発電においては、着床式の導入ポテンシャルを更に上回る。

洋上における風力エネルギーが豊富にある日本ではあるが、今後、洋上風力発電事業を拡大するための課題が幾つかある。例えば、洋上風力発電施設を建設する際は、部材を国内外の製造工場から設置海域付近の港まで海上輸送する必要がある。しかし、国内には巨大な部材を輸送する船舶や、その船舶を停泊させて部材を仮置きすることの出来る港湾機能が整備されている事例は少ない。また、洋上風力発電を国内で行う際には自治体との調整だけでなく、地元住民・漁業関係者との合意形成が不可欠である。特に地元住民・漁業関係者との合意形成は、生活環境や漁業への影響に対する不安を解消し、洋上風力発電への理解を促進するという面において、事業者にとって重要な課題である。

4. 日本の気候変動対策における洋上風力発電の位置付け

気候変動に関する政府間パネル（Intergovernmental Panel on Climate Change: IPCC）の第 5 次評価報告書によると、1880 年～2012 年の間に、世界の平均気温は 0.85°C 上昇したⁱⁱⁱ。また、地球温暖化は「疑う余地がなく」、大気中の CO₂、CH₄、N₂O は過去 80 万年間で前例のない水準で増加していることが確認された。最も気温上昇が高いシナリオ（RCP8.5）^{iv}の予測では、世界の平均気温は 2100 年までに 2.6～4.8°C 上昇するとされている。その結果、異常気象を誘発し、生物多様性や人々の健康、経済活動など様々な分野に対して悪影響を及ぼす。例えば、西日本を中心に国内の広範囲に被害を及ぼした平成 30 年 7 月豪雨では、農林水産業関連分野で約 3,273 億円^vの被害が報告され、幅広いサプライチェーンを有する製造業や小売業などに対しても重大な被害をもたらした。気象庁は、平成 30 年 7 月豪雨の原因の一つに地球温暖化に伴う大気中の水蒸気量の増加が考えられると結論づけており^{vi}、今後このような気候変動による影響を最小限にするためにも、温室効果ガ

ⁱ 年平均風速 7.0m/s 以上、水深 10～40m の条件下で、約 100MW 以上のプロジェクト（風車は 5.0MW 級）を想定。

ⁱⁱ 洋上風力発電設備の利用率を 30%と仮定した場合の概算値。

ⁱⁱⁱ IPCC (2013). 「第 5 次評価報告書 第 1 作業部会報告書 政策決定者向け要約」, http://www.data.jma.go.jp/cpdinfo/ipcc/ar5/ipcc_ar5_wg1_spm_jpn.pdf

^{iv} Representative Concentration Pathways の略

^v 農林水産省(2018). 「平成 30 年 7 月豪雨等による被害状況等について」, <http://www.maff.go.jp/j/saigai/ooame/20180628.html>

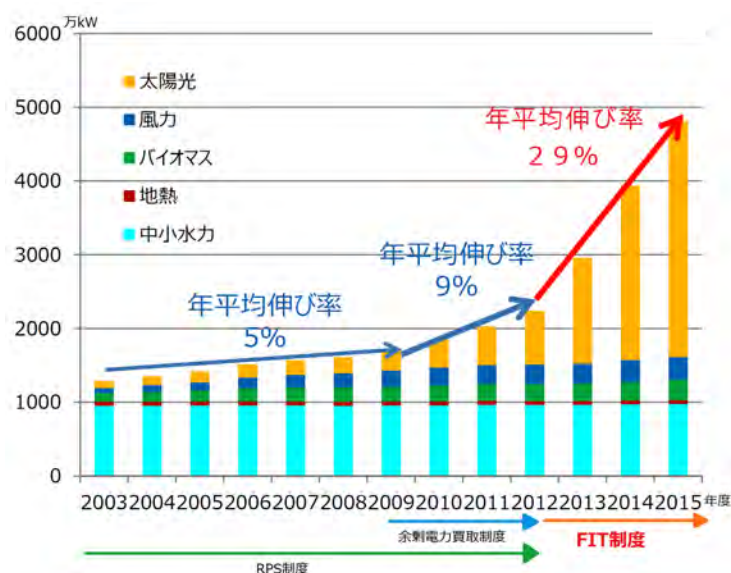
^{vi} 気象庁(2018). 「平成 30 年 7 月豪雨」及び 7 月中旬以降の記録的な高温の特徴と要因について」, <https://www.jma.go.jp/jma/press/1808/10c/h30goukouon20180810.pdf>

スの排出削減は喫緊の課題である。

IPCCによると、2℃目標を達成する為には、2012年以降の世界全体での累積温室効果ガス排出量を約1,000Gt-CO₂i以下に抑える必要がある。残された1,000Gt-CO₂のカーボンバジェット iii)に対して、先進国は率先して排出量の削減に努めなければならないなか、温室効果ガスを直接的に排出しない再生可能エネルギーの導入促進は省エネと並ぶ主要な緩和策である。日本政府が国連気候変動枠組条約事務局へ提出した約束草案では、日本は温室効果ガスを2030年度に2013年度比26.0%削減することとし、エネルギー部門における施策として、再生可能エネルギーの最大限の導入促進が掲げられている。

図表1は国内の各再生可能エネルギーの導入量を示したものである。固定価格買取制度(FIT)開始以降、再生可能エネルギーの導入量は太陽光発電を中心に増大した。しかしながら、2016年度の日本の電源構成は、火力(天然ガス、石炭、石油等)83.4%、原子力1.7%、再生可能エネルギー(水力、地熱含む)14.8%である iii)。一方、政府が掲げる2030年度のエネルギーミックスによると、再生可能エネルギーの導入比率は22~24%に設定されており、陸上と洋上を含めた風力発電全体では電源構成の1.7%程度を確保することを目標としている。当面は、原子力発電及び火力発電に頼らざるを得ないが、政府は再生可能エネルギーの導入拡大を目指している。大きな発電ポテンシャルを秘めた洋上風力発電の導入拡大は、日本の気候変動対策における重要な施策であると言える。

図表1 国内の再生可能エネルギー導入状況



出所：資源エネルギー庁 HPiv

i 1Gt-CO₂ = 1,000,000,000 t-CO₂

ii 気温上昇を一定レベルに抑制する場合に考えられる、温室効果ガスの累積排出量 (=過去の排出量+将来の排出量)

iii 水力7.5%、太陽光4.8%、風力0.6%、地熱0.2%、バイオマス1.7%

iv <http://www.enecho.meti.go.jp/about/special/tokushu/saiene/saienecost.html>

5. 日本における洋上風力発電の導入状況及び将来展望

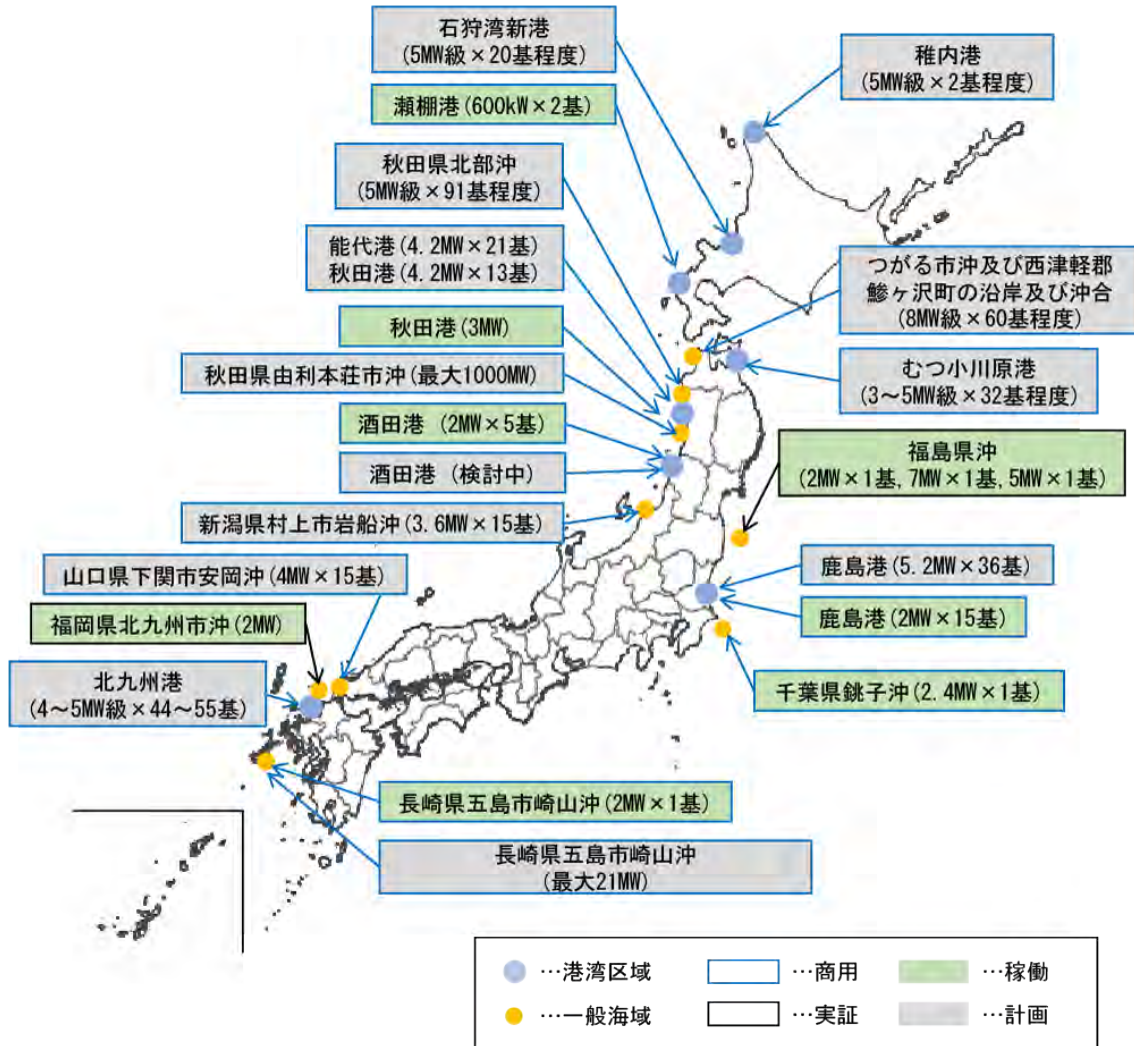
洋上風力発電は、1990年にスウェーデンでの洋上風車（定格出力 220 kW、1 基）稼働開始を皮切りに、イギリス、オランダ、デンマークを中心に導入が進められてきた。日本では、2004年に北海道せたな町で定格出力 600kW の洋上風車 2 基を設置したことから始まり、導入実績は 2017 年時点で合計約 64.6MW まで拡大した。国内の代表的な実証事業として、着床式では千葉県銚子沖（2.4MW）、福岡県北九州市沖（2.0MW）、浮体式では福島県沖（14.0MW）、長崎県五島市崎山沖ⁱ（2.0MW）があり、主に国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）によって実証研究が進められている。また、既に事業として運転している事例としては、北海道せたな町（1.2MW）、茨城県神栖市沖（30.0MW）などが挙げられる（図表 2）。洋上風力発電事業の実施において有望な風況条件は、風速約 7.0m/s 以上とされており、これを満たす海域が北海道・東北地方に集中していることから、これらの地域では先進的に事業計画が進められた。現時点での導入計画は北海道・東北地方に多く見られるが、これまで導入量が少なかった東海地方や実証研究が実施されている九州地方でも事業が検討されている。

また、これまでは比較的、離岸距離の短い港湾区域内で事業を実施するケースが多かったが、今後は港湾区域内だけでなく、より沖合で風況の良い「一般海域ⁱⁱ」を利用する発電事業の増加にも期待がかかる。政府は「海洋再生可能エネルギー発電設備の整備に係る海域の利用の促進に関する法律案」を 2018 年 3 月に閣議決定、同年 12 月に公布した。政府は同法に基づき「促進区域」の指定、公募占用指針の策定を行う予定であり、2030 年までに 5 区域へ拡大される見込みである。一般海域利用のルール化により、事業者が洋上風力発電事業に参入しやすい環境となることが期待される。

ⁱ 環境省による実証事業を経て、現在は戸田建設によって商業用として運転中。

ⁱⁱ 漁港漁場整備法、港湾法並びに海岸法によって指定された、漁港区域、港湾区域、一般海岸区域及び海岸保全区域以外の海域を指す。洋上風力における利用実績は福島沖、銚子沖、北九州市沖での実証研究 3 件のみで、商用としては未だ利用されていない。

図表 2 国内の洋上風力発電実績及び主な事業計画（2018年12月時点）

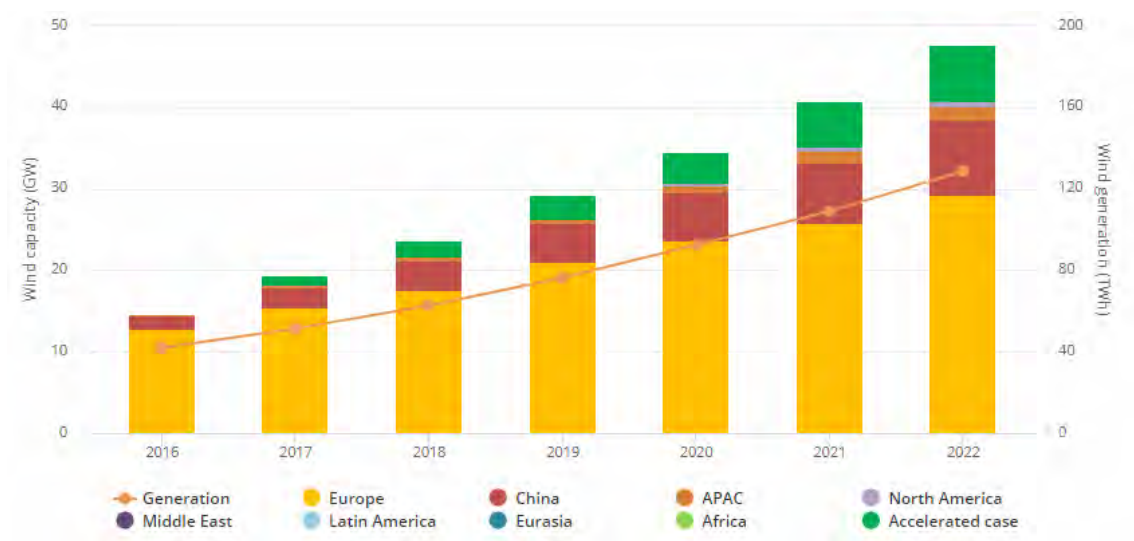


出所：NEDO HP、各発電事業者 HP より筆者作成

6. 国内外の洋上風力発電事業者による GB 発行事例

図表 3 に示すように欧州は洋上風力発電を積極的に推進してきた地域であり、現在、世界全体の洋上風車のうち約 9 割は欧州にある。その中でもイギリス、デンマーク、ドイツ、ベルギー、オランダの 5 カ国が主な導入国で、これらの国々では、洋上風力発電市場の拡大によって事業者の資金調達の方法が多様化しており、近年は GB を活用する事業者も見受けられる。ここでは、2017 年に GB を発行した国外の洋上風力発電事業者 2 社、及び国内の洋上風力発電事業者としては初の導入となった戸田建設の事例を紹介する。

図表 3 世界の洋上風力発電累積導入量の実績及び予測



出所：International Energy Agency (2018) . 「Wind Energy」ⁱ

① Innogy(ドイツ)

ドイツに本社を置く Innogy 社は、8.5 億ユーロの GB を 2017 年 10 月に発行した。Innogy 社は再生可能エネルギー、電力インフラを主要事業とする欧州の大手電力事業者である。同社は風力発電（陸上、洋上）だけでなく、太陽光、バイオガス、バイオマス発電事業など幅広く展開している。Innogy 社は 2004 年から洋上風力発電事業を開始し、現在はイギリス、ドイツを中心に同事業を実施しており、欧州の洋上風力発電容量のうち第 3 位ⁱⁱ (7%) のシェアを占める。GB 発行によって得られた資金は再生可能エネルギーⁱⁱⁱ、エネルギー効率^{iv}、クリーン輸送^vの 3 分野の関連プロジェクトに対して使用される予定である。本事例は、洋上風力発電事業を含む再生可能エネルギー及び複数のグリーンプロジェクトに対して発行されたものである。

② Ørsted (デンマーク)

デンマークの国営電力会社である Ørsted 社 (旧 Dong Energy) は、2017 年 11 月に 12.5 億ユーロの GB を発行した。同社は、Danish Oil and Natural Gas の頭文字を取った“Dong” Energy として石油・天然ガス事業を実施しながら、再生可能エネルギー事業についても拡大を図ってきた。2017 年 9 月末には、これまで保有していた石油・天然ガス事業を全て売

ⁱ <https://www.iea.org/topics/renewables/wind/>

ⁱⁱ Wind Europe が 2018 年に発表した統計レポート「Offshore Wind in Europe Key trends and statistics 2017」によると、1 位は Ørsted (17%)、2 位は E.ON (8%) である。

ⁱⁱⁱ 洋上・陸上風力発電、太陽光発電及び水力発電等

^{iv} CHP、スマートグリッド、スマートハウスソリューション等

^v 交通セクターにおける排出量削減に関するプロジェクト

却し、“グリーンプロジェクト”を中心とした事業に転換したことから、現在の Ørsted に社名変更した。Ørsted 社による洋上風力発電事業は、デンマーク、イギリス、ドイツなどの欧州を中心に事業を展開しており、欧州の洋上風力発電市場の約 17%を占める。

Ørsted 社が発行した GB により得られた資金は、再生可能エネルギー（洋上風力発電、バイオマス発電）、スマートメーター導入等のプロジェクトに対して使用される。既に GB の使途が割り当てられた 12.5 億ユーロのうち、少なくとも約 75%は洋上風力発電事業における建設及び設置費用として使用される予定であるⁱ。対象となる発電事業は、2 カ国 4 つのプロジェクトⁱⁱである。

③ 戸田建設株式会社（日本）

2017 年 12 月 14 日、戸田建設は、五島市沖洋上風力発電事業（長崎県五島市崎山漁港沖、図表 4 参照）における資金調達を目的に、GB を発行した。償還期限 5 年、発行規模は 100 億円の予定で、GB により調達した資金の全てが、浮体式洋上風力発電施設の建設に関連する設備投資資金ⁱⁱⁱとして使用予定であることが大きな特徴である。戸田建設によると、現時点で 7 つの企業及び機関が同社の GB へ投資することを表明している^{iv}。また、今回の GB 発行にあたり、同社は国際資本市場協会（ICMA）の「The Green Bond Principles 2017」に基づいたグリーンボンドフレームワークを独自に策定し、第 3 者機関である Sustainalytics 社による GB の適格性の評価を受けている。

戸田建設は、2007 年に始まった外部研究機関との共同による浮体式洋上浮力発電の研究プロジェクトを契機に、今日に至るまで日本の洋上風力発電推進に貢献してきた企業である。2010～2015 年度に環境省が長崎県五島市杵島沖で実施した「浮体式洋上風力発電実証研究」終了後、2016 年から同社が商用の発電事業として運営を行っている。戸田建設によると、同事業は現在の 2MW 風車 1 基から 2021 年を目途に最大合計出力を 22MW に拡大することを計画しており、実現されれば日本国内の浮体式洋上風力発電では最大規模となる。なお、発電した電力は九州電力株式会社へ供給される予定である。

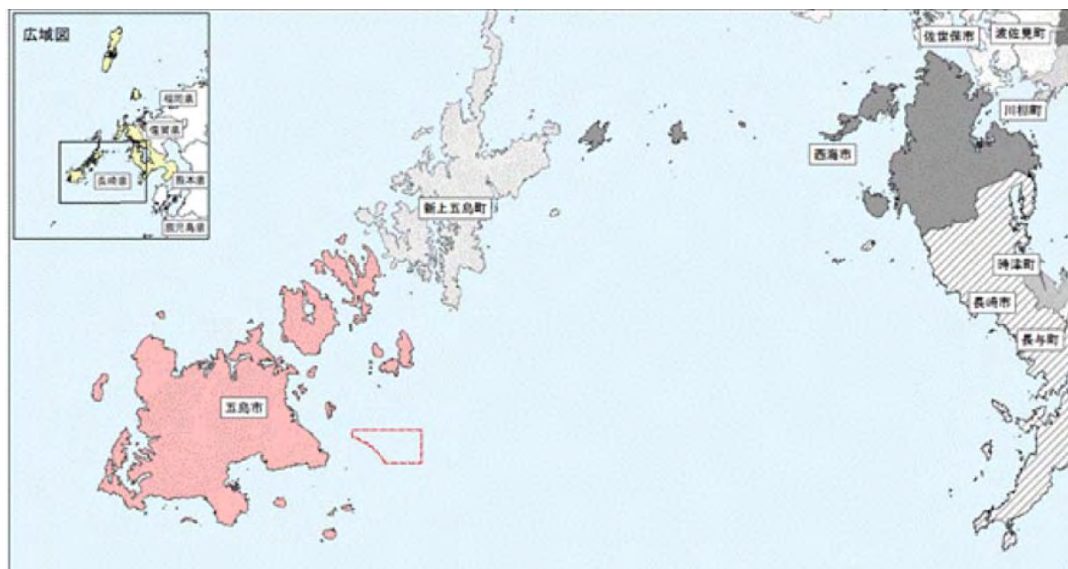
ⁱ Center for International Climate Research (2017). ‘Second Opinion’ on Ørsted’s Green Bond Framework, <https://orsted.com/-/media/WWW/Docs/Corp/COM/Investor/Financial-reporting/Green-Bond-Framework/rsted---Second-Opinion-from-Cicero---Final---9-November-2017.ashx?la=en&hash=98870111A2FC2636DF351A7251854F3620E4101B&hash=98870111A2FC2636DF351A7251854F3620E4101B>

ⁱⁱ Race Bank（イギリス）、Walney Extension（イギリス）、Borkum Riffgrund 2（ドイツ）、Hornsea Project one（イギリス）を指す。

ⁱⁱⁱ 風力発電機、浮体、送電網への接続に係る支出

^{iv} 元気な長崎応援投資事業有限責任組合、大和住銀投資信託顧問株式会社、東京海上アセットマネジメント株式会社、株式会社野村総合研究所、三井住友信託銀行株式会社、株式会社宮崎太陽銀行、労働金庫連合会

図表 4 戸田建設による浮体式洋上風力発電事業想定エリア（赤枠点線部分）



出所：Sustainalytics（2017）「戸田建設グリーンボンド フレームワークの概要とサステイナビリティクスによるセカンドオピニオン」

図表 5 に、本項で紹介した Innogy 社、Ørsted 社、及び戸田建設株式会社の GB に関する基本情報の整理結果を示す。Innogy 社、Ørsted 社によって発行された GB は洋上風力発電事業のみならず複数のプロジェクトに対する資金も含まれている。その一方、戸田建設は GB 発行額の 100%を洋上風力発電事業に投資するとしており、これは海外事例と異なる特徴である。GB は、調達資金の追跡管理、環境改善効果の算定やレポーティングの公表が必要になるなど、通常の社債等に比べて追加的な作業とコストを要する。しかし、国内における洋上風力発電事業の実績が少ない状況を踏まえると、洋上風力発電事業者にとって GB は、ESG 投資、グリーンプロジェクトへの投資を行っている機関投資家に対するアピールの機会となる。

図表 5 洋上風力発電事業者による GB 発行事例

企業名	Innogy	Ørsted	戸田建設
本社所在地	ドイツ	デンマーク	日本
発行年	2017年	2017年	2017年
発行額	8.5億ユーロ (約1,105億円)	12.5億ユーロ (約1,625億円)	100億円
GBの用途	<ul style="list-style-type: none"> 再生可能エネルギー (e.g. 洋上・陸上風力発電、太陽光発電、水力発電) エネルギー効率 (e.g. CHP、スマートグリッド、スマートハウスソリューション) クリーン輸送 (e.g. 交通セクターにおける排出量削減に関するプロジェクト) 	<ul style="list-style-type: none"> 再生可能エネルギー (e.g. 洋上風力発電、バイオマス発電) エネルギー貯蔵、スマートグリッド等 (e.g. スマートメーターの導入等) 	<ul style="list-style-type: none"> 再生可能エネルギー (洋上風力発電)
GB発行に対するレポート ティング機関	Sustainalytics (オランダ)	CICERO (ノルウェー)	Sustainalytics (オランダ)
主な洋上風力 発電事業 (計画中含む)	<ul style="list-style-type: none"> Greater Gabbard (252MW、イギリス) Nordsee Ost Wind Farm (295MW、ドイツ) 	<ul style="list-style-type: none"> Anholt (400MW、デンマーク) London Array (630MW、イギリス) 	<ul style="list-style-type: none"> 五島市沖風力発電事業 (20.9～22.0MW、日本)

(各事業者の公表資料、GB レポートティング機関によるセカンドオピニオンを基に筆者作成)

(1 ユーロ=約 130 円と想定)

7. おわりに

今回、国内初の洋上風力発電事業者として発行した戸田建設による GB は「浮体式」の事業に対する資金調達であったが、海外事例と同様に「着床式」の洋上風力発電事業者に対しても同様の活用が可能である。FIT 制度から自立し、洋上風力発電事業が気候変動対策及び再生可能エネルギーとして重要な役割を果たす為には、GB の活用が一つの手段となり得る。海外に目を向けると、近年、Ørsted 社や Siemens 社をはじめとする欧州で実績のある洋上風力発電事業者や風車メーカーがアジアに進出したことで、同地域の市場は急速に拡大すると考えられる。例えば、世界有数の風況条件に恵まれている台湾では、2030 年までに台湾海峡における洋上風力発電事業を 4.0GW まで拡大することを政府が発表し、開発の拠点となる港湾の整備も進められている。アジアの洋上風力発電市場が拡大している状況下で、日本の洋上風力発電事業者が国内外の投資家にとって関心の高い GB を活用することで、再生可能エネルギーの導入拡大による気候変動対策への貢献を社会に向けて発信し、戦略的な資金調達方法で事業を実施することが求められる。

グリーンボンドガイドラインの策定により、再生可能エネルギーをはじめとするグリー

ンプロジェクト事業を行う民間企業及び自治体は、これまでよりも容易に GB の検討を進めることが可能になった。しかし、同ガイドラインに法的拘束力はなく、これまで国内の民間企業が GB を活用した事例も少ないため、今後も政府主導による法整備及び企業・機関投資家への理解促進を図り、GB 市場の拡大を目指すべきである。環境省は、平成 30 年度グリーンボンド発行モデル創出事業を実施するなど、GB の更なる普及を目指していることが窺える。

民間企業による GB 発行は、グリーンプロジェクト、すなわち気候変動対策事業の実施を投資家に向けて発信することに繋がる。また、ESG 投資を実施している、又は関心が高い機関投資家にとって、投資収益だけでなく環境面からの利益や持続可能な社会の実現への貢献が期待できる GB は、今後、重要な投資先の一つとなるはずである。債券の発行主体及び投資家の双方にとって新しい価値を見出すことが出来る GB 市場により、国内洋上風力発電が更に導入拡大されることが望まれる。