

北海道の港湾・漁港の技術開発ビジョン

持続可能な北のみなとづくり技術開発宣言

北海道開発局

港湾建設課・水産課

令和3年3月

目 次

1. 持続可能な北のみなとづくり技術開発宣言	3
2. 港湾・漁港の社会情勢の変化と新たな要請	5
(1) 港湾物流に関わる就業人口の減少	5
(2) 漁業者の減少と高齢化	5
(3) 北海道の沿岸域における海域環境の問題	6
(4) 洋上風力産業の動向	6
(5) 気候変動による海象変化と地震津波リスクの増加	7
(6) 港湾管理者の技術者と建設就業者の減少	8
3. 北海道の港湾・漁港の目指す将来像	9
(1) 港湾物流の生産性向上を実現した A 港	9
(2) 漁業の生産性向上・海域環境の創出を実現した B 港	10
(3) 海象変化への適応と施工の生産性向上を実現した C 港	11
4. 将来像実現のための重点技術開発	12
(1) 港湾物流の生産性向上	12
① 積雪寒冷港湾のターミナル自働化技術	12
② 積雪寒冷地に対応した自動係留技術	12
③ エプロン等の凍結抑制技術	12
(2) 漁業の生産性向上	12
① エプロン上の漁業作業の最適化技術	12
② 係留施設の多様な階層の船舶への対応技術	13
③ 港内静穏域を活用した水産有用種の蓄養・増養殖技術	13
④ 施設整備による水産生物の生育環境の創出評価技術	13
(3) 北海道沿岸域のカーボン・ニュートラルの推進と海域環境の保全 ..	14
① ブルーカーボンによる CO ₂ 固定効果の定量化技術	14
② 洋上風力発電施設に作用する氷力算定技術	14
③ 漁網等の混入によるコンクリートの靱性化技術	14

(4)	波浪や津波等の外力変化への適応	14
①	急速に発達した低気圧による高潮・高波発生予測技術	14
②	吹送流・潮位変化を考慮した漂砂現象予測技術	15
③	気候変動によるマクロ的な将来海象変化の予測及び影響評価技術	15
④	将来の海象変化に対応した消波機能高度化技術	15
⑤	氷海域における津波減災技術	16
(5)	積雪寒冷地の施工・維持管理の生産性向上	16
①	積雪寒冷地のプレキャスト化・ICT 施工技術	16
②	積雪寒冷地の ICT 施設点検技術	16
③	積雪寒冷地におけるコンクリートの自己治癒技術	17
④	取水施設の維持管理効率化技術	17
5.	技術開発の進め方	18
(1)	関係機関の連携体制	18
(2)	技術開発アドバイザー	19
(3)	ビジョンの浸透	19
6.	開発した技術の社会実装の方策	20
(1)	新たなプロジェクト評価手法の検討	20
(2)	ブルーインフラ化の推進	20
(3)	新技術の採用余地の確保	21
(4)	施工省力化技術の積極的な採用	21
(5)	技術基準への反映	21
7.	おわりに	22

1. 持続可能な北のみなとづくり技術開発宣言

北海道の人口は、1997年の約570万人をピークに減少に転じ、2020年は527万人と2010年の552万人¹から10年間で約5%減少しました。また、将来の全産業就業者数は、2015年と比較して、2040年で70%、2060年で49%と推計され、就業者数の減少による人手不足や後継者不足は、北海道の強みの一つである、農林水産物の供給力の低下を招くことが懸念されるほか、建設、運輸など、幅広い分野に影響を及ぼすと分析²されています。この約40年後の2060年に北海道における就業者数が半減するという予測は、農林水産物の生産供給拠点である北海道の港湾・漁港に携わる関係者全員に大きな衝撃を与えるものとなりました。

一方、2019年12月以降、新型コロナウイルス感染症が世界で拡大し、わが国においても、その収束はいまだ見通せない状況となっています。あらゆる場面において「三密」の回避が求められ、ICTの活用による業務の遠隔・自動化が効果的であることから、政府としてデジタルトランスフォーメーション等を推進することとしています。このICTの活用は北海道の人口減少への適応策としても極めて有効であり、この機会を変革の契機と捉えることが重要です。

気候変動による影響も深刻です。2018年に西日本で大きな被害をもたらした「平成30年7月豪雨」では、「地球温暖化に伴う水蒸気量の増加の寄与もあった」と気象庁が個別災害について気候変動の影響に初めて言及しています。さらに、同年10月の台風21号では神戸港が高潮による浸水被害を受け、また、2019年9月の台風15号では横浜港の護岸が高波で倒壊する等、想定を越える波浪・高潮による港湾の大規模な被害が続きました。全国港湾海洋波浪情報網（NOWPHAS）の北海道沿岸データを分析すると、北海道の港湾の7観測地点の内、6地点で年最大有義波高が増加傾向となっていました。気候変動の問題に対しては、将来の海象変化に対して被害等を軽減する「適応策」に加えて、温室効果ガスの削減を図る「緩和策」との両面の対策が必要です。2020年10月、菅首相は所信表明演説において、2050年までにカーボン・ニュートラルの実現を目指すことを宣言しました。北海道の港湾・漁港においても、適応策と緩和策の推進が必要となっています。

さらに、港湾・漁港施設の老朽化対策も大きな課題です。2013年11月にインフラ老朽化対策の推進に関する関係省庁連絡会議において「インフラ長寿命化基本計画」が策定され、個別施設毎の長寿命化計画を核として、メンテナンスサイクルを構築し、トータルコストの縮減・平準化を図ることとしました。北海道の港湾・漁港でも、定期的な施設点検を踏まえた予防的な対策が浸透しつつあり

¹ 住民基本台帳に基づく人口、人口動態及び世帯数に関する調査（総務省）

² 北海道人口ビジョン改訂版（2020年3月北海道）

ますが、北海道の港湾の施設整備は1990年代が量的ピークとなっていることから、今後、老朽化対策を一層強化する必要があります。

これからの北海道の港湾・漁港づくりでは、就業者数の減少や新型コロナウイルス感染症への対応、気候変動、そして老朽化に対して港湾・漁港の機能を確保することが重要であり、『持続可能』をキーワードとした技術開発を重点的に進めることが急務となっています。この「北海道の港湾・漁港の技術開発ビジョン」では、これらの急激な社会・環境変化に適応するための港湾・漁港の将来像を示すとともに、その実現のため重点的に実施すべき技術開発、さらに、関係機関と連携した技術開発の進め方や社会実装のために必要な取組を、「持続可能な北のみなとづくり技術開発宣言」として整理したものです。

2015年9月の国連サミットで採択された「持続可能な開発のための2030アジェンダ」には、2030年までに持続可能でよりよい世界を目指す国際目標として「持続可能な開発目標（SDGs）」が位置付けられました。SDGsの目標の中には、「13 気候変動に具体の対策を」や「14 海の豊かさを守ろう」等、北海道港湾・漁港の技術開発を通じて貢献できるものが含まれています。本ビジョンの技術開発の達成については、SDGsとも呼応させるため、概ね2030年を目標とすることとします。

北海道開発局の港湾関係の技術職員は2001年の国土交通省発足時から約2割減少しましたが、それを理由に技術開発を捨てることはできません。このビジョンの実現を通じて、今一度、技術開発のフロンティア精神を職員で共有・醸成し、関係者と一丸となって持続可能に向けた技術開発を進めていきます。

2. 港湾・漁港の社会情勢の変化と新たな要請

(1) 港湾物流に関わる就業人口の減少

北海道の港湾は国内や海外への食料品の供給拠点として重要な役割を担っており、苫小牧港を中心に国内最大のフェリー・RORO 船ネットワークが形成されるとともに、農水産品等の海外への輸出のため京浜港等へのコンテナ輸送が行われています。

一方、北海道の港湾労働者数は2008年の1,670人³に対し2019年には1,548人⁴と10年間で約8%減少しています。港湾での荷役作業等では、トラックドライバーはもちろんのこと、船舶の離着岸や係留作業には多くの人手を必要としています。また、荷役クレーンのオペレーターやRORO 荷役を行うドライバー等は専門的な技術力が必要なことから、今後の就業者数の減少が港湾物流機能の確保の観点で大きな問題であり、生産性向上が大きな課題となっています。

港湾の中長期政策「PORT2030」(国土交通省港湾局、2019年7月)においては、労働供給力の低下等に対して「持続可能で新たな価値を創造する国内物流体系の構築」の方向性が示され、国際戦略港湾へのシームレスな接続という課題に対して輸送の生産性向上を進めることとしています。さらに、国内ターミナルにおいては、高規格な荷役機械・乗降施設、自動運航船舶と連携した自動離着岸システム、ターミナル内横持ち自動運転、決済等を効率化するシステム等を実装した「次世代高規格ユニットロードターミナル」を展開することとしました。

これらターミナルの北海道での実現のためには、自動化に必要な各種センサーへの降雪の影響の除去やエプロンの凍結問題の解決といった北海道独自の技術開発を進める必要があります。

(2) 漁業者の減少と高齢化

北海道は国内最大の漁業生産を誇り、2018年では全国の約16%に当たる約2.4万人の漁業就業者により、全国の約23%を占める約100万トン⁵の水揚げが行われています。

しかし、北海道の漁業就業者についても、2008年の33,568人から2018年の24,378人⁶と10年間で約27%の減少となっており、また、就業者における60歳以上の割合は36%⁷と高齢化が進んでいます。さらに、将来の見通しについても、2017年から30年後には全国の漁業就業者が約半数になると試算⁸されています。

³ 2008年版 数字でみる港湾 (日本港湾協会発行、2008年7月)

⁴ 港運要覧 (一般社団法人 日本港運協会、2020年10月)

⁵ 平成30年漁業・養殖業生産統計 (農林水産省大臣官房統計部生産流通消費統計課、2019年12月)

⁶ 2018年漁業センサス (農林水産省大臣官房統計部経営・構造統計課センサス統計室、2020年1月)

⁷ 令和元年度 水産業・漁村の動向等に関する年次報告の概要 (北海道水産林務部、2020年6月)

⁸ 平成30年度水産白書 (水産庁)

ることから、漁業の生産性向上が喫緊の課題となっています。

「水産基本計画」（2017年4月水産庁）では、漁業者の減少や高齢化、漁船の減少に対応するため、漁港機能の再編・集約化を図ることにより、漁港水域の増養殖場としての活用等、漁港施設の有効活用・多機能化を推進することとしています。特に、漁港水域の増養殖場としての活用については、安定的な水産物の供給の観点でも重要となっています。

また、水揚げ情報の迅速な収集・処理等による水産資源の評価・管理の高度化とともに、漁業の生産性向上を図るため、漁港等における ICT 化の推進も重要です。

このため、国内最大の漁業生産を誇る北海道において、これらを推進する具体的な技術開発を行い、全国を先導する必要があります。

（3）北海道の沿岸域における海域環境の問題

北海道の海岸線延長は全国の約1割⁹である一方、海藻類の生産は全国の約7割¹⁰を占め、北海道沿岸は豊かな海域環境となっています。しかし、北海道の噴火湾周辺から津軽海峡を経て宗谷岬に至る日本海を中心とした沿岸域では、1978年から2016年の約40年間で藻場が約6割も減少¹¹しており、豊かな沿岸域環境の保全や創出の取組が必要となっています。

また、近年、地球温暖化の緩和策としてブルーカーボンが注目されており、これは光合成により二酸化炭素を吸収した海藻類が炭素の貯蔵庫として機能を発揮するというものです。海底泥中に流れ着いた海藻類、つまりブルーカーボンは、無酸素状態であることから、長期間（数千年程度）分解されずに貯留されます。既往の研究では、海底には年間1.9億～2.4億トンの炭素が新たに埋没・貯留されると推定され、海洋全体の面積の1%にも満たない浅海域（海底まで光が届くエリア）が、貯留される炭素全体の約73～79%を占めている¹²という報告もあります。

このため、北海道の豊かな沿岸域環境の保全や創出を図る技術開発について、CO₂の削減を踏まえて進める必要があります。

（4）洋上風力産業の動向

2020年12月に策定された洋上風力産業ビジョン（第1次）（洋上風力の産業競争力強化に向けた官民協議会）では、洋上風力発電は国民負担の低減効果や経済波及効果が大きいこと等から、2030年度までに1,000万kW、2040年度まで

⁹ 海岸統計（国土交通省 水管理・国土保全局、2020年3月）

¹⁰ 平成30年漁業・養殖業生産統計（農林水産省大臣官房統計部生産流通消費統計課、2019年12月）

¹¹ 藻場・干潟ビジョン（北海道、2019年5月）に基づき北海道開発局で推計

¹² Blue Carbon in Shallow Coastal Ecosystems: Carbon Dynamics, Policy, and Implementation. Springer Singapore, 373 p. (Kuwae, T. and Hori, M. (eds), 2018年9月)

に浮体式を含む 3,000 万 kW～4,500 万 kW の案件を形成する目標が設定され、北海道では全国の 1/3 に相当する 955～1,465 万 kW の地域別導入イメージが示されました。

今後、流氷の来襲する沿岸や結氷する沿岸域での洋上風力施設の立地の可能性を拡大させるため、これまで北海道開発局や国立研究開発法人土木研究所寒地土木研究所（以降、寒地土研）で蓄積された海氷を考慮した沿岸構造物の設計方法について、洋上風力発電施設への適応の整理が必要となります。

（５）気候変動による海象変化と地震津波リスクの増加

「変化する気候下での海洋・雪氷圏に関する IPCC 特別報告書」（2019 年 9 月 IPCC（気候変動に関する政府間パネル））では北海道の港湾・漁港にも影響のある以下の指摘がなされています。

- ・ 2006-2015 年の世界平均海面水位（GMSL）は平均 3.6mm/年上昇。前世紀では例がない速度。
- ・ 海面上昇については RCP8.5 シナリオ（温室効果ガス排出量が最も多いケース）における 2100 年予測が第 5 次評価報告書（AR5）よりも 0.1m 上方修正し、1.1m の上昇と予測。数百年単位では数メートル上昇すると予測。
- ・ RCP8.5 で 食物網全体にわたる海洋生物の生物量は 5.9～15.0%減少し、潜在的な最大漁獲量は 20.5 ～24.1%減少。

一方、わが国においても近年の度重なる台風襲来による高潮の浸水被害や高波による施設の損壊等が発生したことから、「今後の港湾におけるハード・ソフト一体となった総合的な防災・減災対策のあり方」（2020 年 8 月国土交通省港湾局）において、平均海面水位、台風を中心とした潮位偏差及び波浪の変化の将来予測の検討とともに、将来の外力条件に対応するための施設の整備や粘り強い化が提案されました。また、既往の研究¹³では、RCP2.6 シナリオ（温室効果ガス排出量が最も少ないケース）で 21 世紀末に日本海沿岸の平均的な波高は 10%減少し、周期が 5%前後減少するものの、オホーツク海沿岸は海氷の減少により、波高が 10%程度大きくなると予測されています。

さらに、2020 年 4 月に内閣府は、発生が切迫しているとされる日本海溝・千島海溝沿いの巨大地震による北海道沿岸の津波高を公表し、根室市からえりも町付近にかけて 10～20m 超、えりも町で 30m 弱、えりも町より西側の地域においても苫小牧市や函館市などで 10m 程度の津波が発生すると推計しました。

気候変動を踏まえた対策を検討するため、北海道沿岸の長期的な海象変化を

¹³ 気候変動による日本周辺の波候スペクトルの将来変化予測,土木学会論文集（海岸工学）,Vol.75, No.2, PPI_1179-I_1180（志村智也, 森信人, 2019 年 10 月）

把握する技術開発が必要です。また、北海道の寒冷海域の特性を踏まえた津波対策に係る技術開発を進める必要があります。

(6) 港湾管理者の技術者と建設就業者の減少

地方公共団体における土木部門の職員数は、ピーク時の 1996 年度から 2016 年度には約 28%減少¹⁴しています。特に、北海道の港湾管理者は市や町が多くを占めており、主に都府県が港湾管理者である道外と状況は大きく異なり、港湾を専門とする土木技術者が極めて少なく、人材育成も行えない状況となっています。

また、北海道の建設業従事者数は 1996 年の約 35 万人をピークに減少が続いており、2019 年には約 23 万人とピーク時から約 34%減少しています。さらに、55 歳以上の割合は 39%（全国 35%）と多く、加えて、29 歳以下は 9%（全国 11%）と低いことから¹⁵、今後、就業者の急激な減少が懸念されています。

このような状況の中、施設の維持管理や建設工事の生産向上が急務となっており、特に、積雪時の点検や施工等、北海道特有の問題を踏まえた技術開発が必要となっています。

¹⁴ 今後の発注者のあり方に関する中間とりまとめ（発注者責任を果たすための今後の建設生産・管理システムのあり方に関する懇談会 今後の発注者のあり方に関する基本問題検討部会、2018 年 4 月）

¹⁵ 労働力調査（総務省、2020 年 1 月）

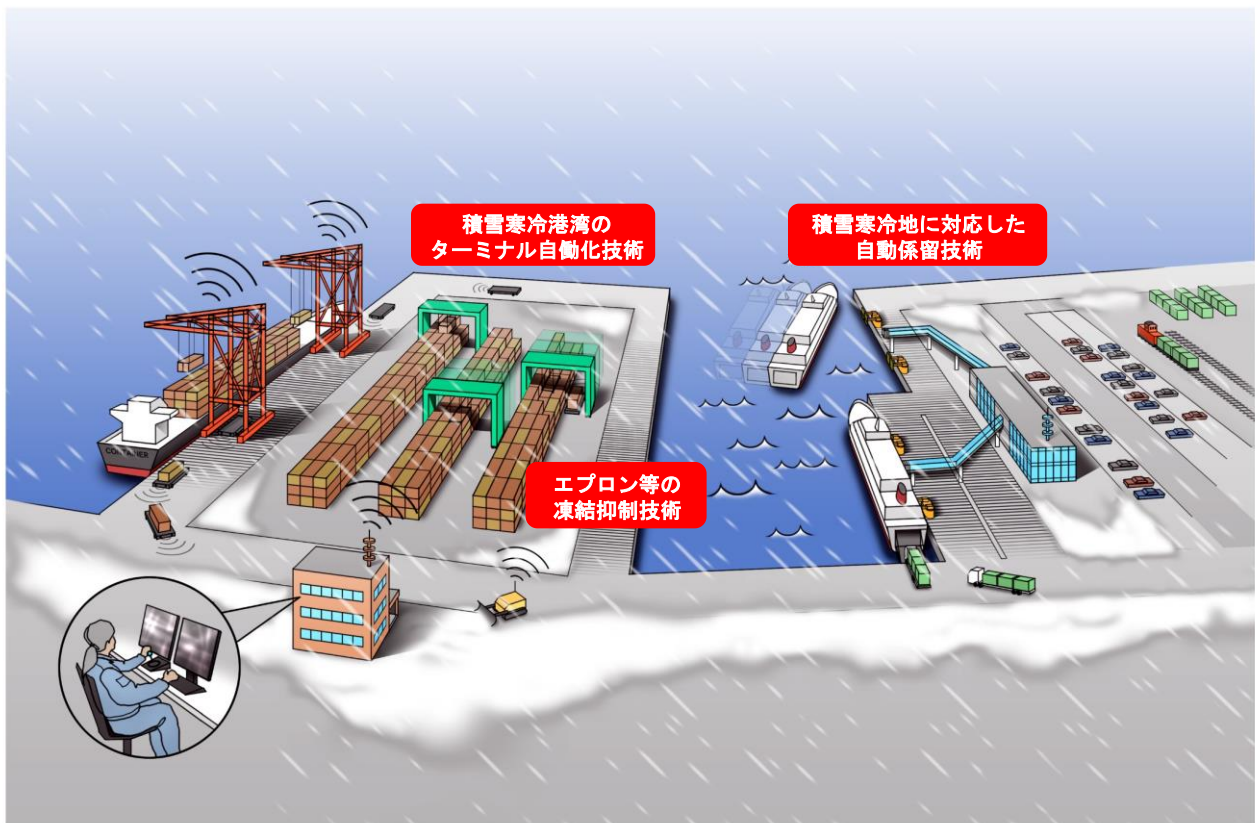
3. 北海道の港湾・漁港の目指す将来像

前章で示した社会情勢の変化と新たな要請を踏まえ、概ね 2030 年までに北海道の港湾・漁港の目指す将来像を整理します。整理に当たっては、港湾・漁港関係者とイメージを広く共有できるように、第三者の視点で記述します。

(1) 港湾物流の生産性向上を実現した A 港

北海道の太平洋側に位置する A 港は大雪に見舞われ、ホワイトアウトで視界がほぼゼロの状況です。しかし、コンテナターミナルでは、コンテナを荷役するクレーン等に作業員の姿が見当たらず、吹雪の中でも、完全な自動化が実現されていました。また、コンテナを置くスペースやエプロンも凍結しておらず、吹雪の中でも荷役がテキパキと行われています。昔は、凍結したエプロンの氷の除去に 10 時間もかかったこともあったそうです。

北海道と本州の物流の大動脈であるフェリーターミナルでは、フェリーの離着岸も自動で行われています。また、たくさんの作業員を必要としていた船からの綱を取る作業がなくなったそうです。港の中でも波のうねりが大きく、海上の視界も非常に悪くなっていますが、あっという間にフェリーが係留されました。もちろん、貨物の荷役も自動運転で行われています。



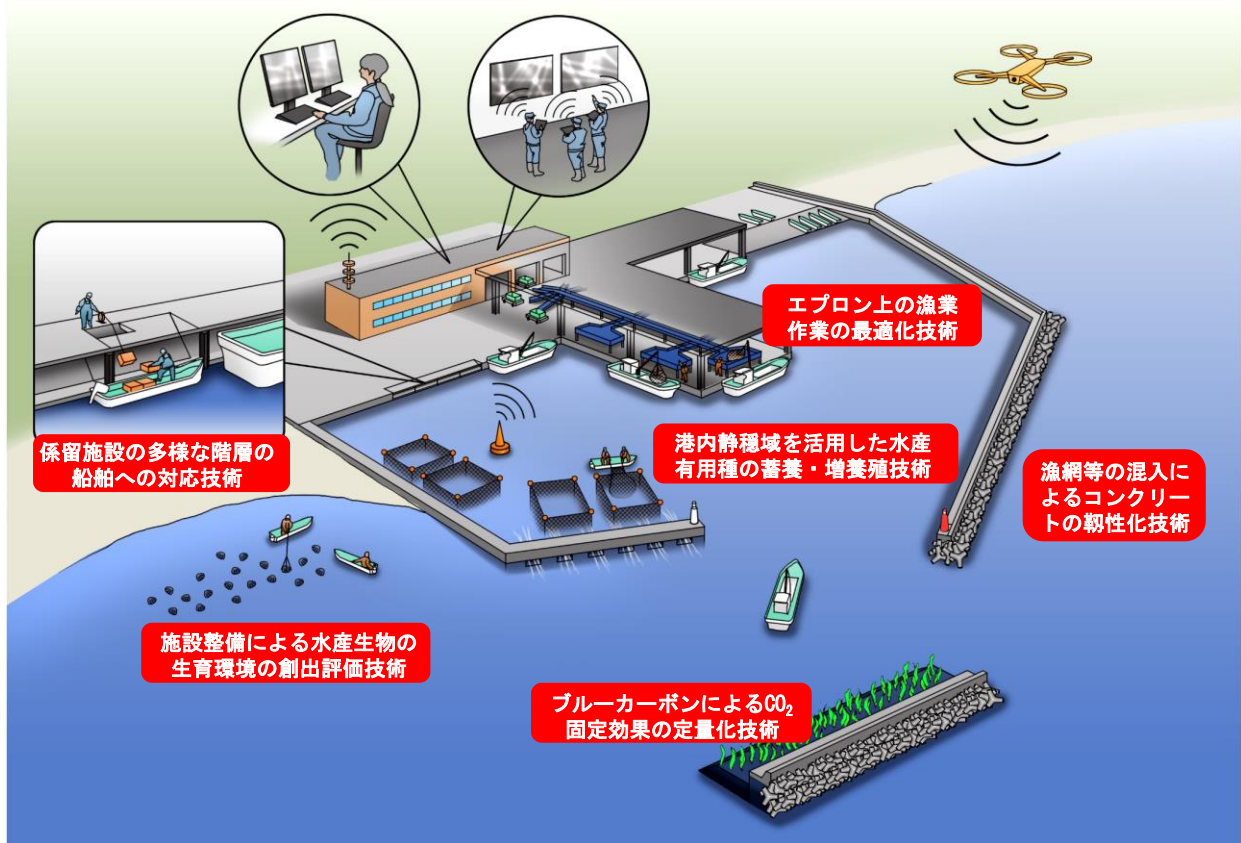
(2) 漁業の生産性向上・海域環境の創出を実現した B 港

北海道の日本海側に位置する B 漁港は、漁船からの荷揚げで活気づいています。魚は、屋根の下の衛生的な環境で規格別に自動選別され、無駄な動きが一切なく高鮮度なピチピチの状態です。市場で働く人は、重労働が減ったためか女性の割合が多く、また、セリといった様々な作業が電子化されています。

漁港の中の水面や周辺の砂浜では、高齢者が蓄養や増養殖を行っています。港内は防波堤により波が静かなため、安全に負担なく漁業が出来る環境になったようです。漁船漁業と蓄養・養殖漁業との複合化が進み、収入も安定したとのことで、漁業関係者の生き生きとした顔が印象的です。

B 漁港の防波堤は、漁網やプラスチックをコンクリートに混ぜ、ブロックが折れるのを防いでいるとのこと。なんと、そのプラスチックは海岸に打ち上げられたゴミが使われており、周辺の海岸がきれいになったそうです。

また、良く見ると、防波堤の背後に浅瀬があり、海藻などがたくさん生育しています。港の施設を工夫して海藻を育てる技術が進んだと聞きました。この海藻は海水中の CO₂ の吸収により育ち、その一生を終えたものは外洋へ流され、一部は無酸素状態である海底の泥の中で分解されずに貯蔵されるとのこと。これをブルーカーボンと言うそうです。

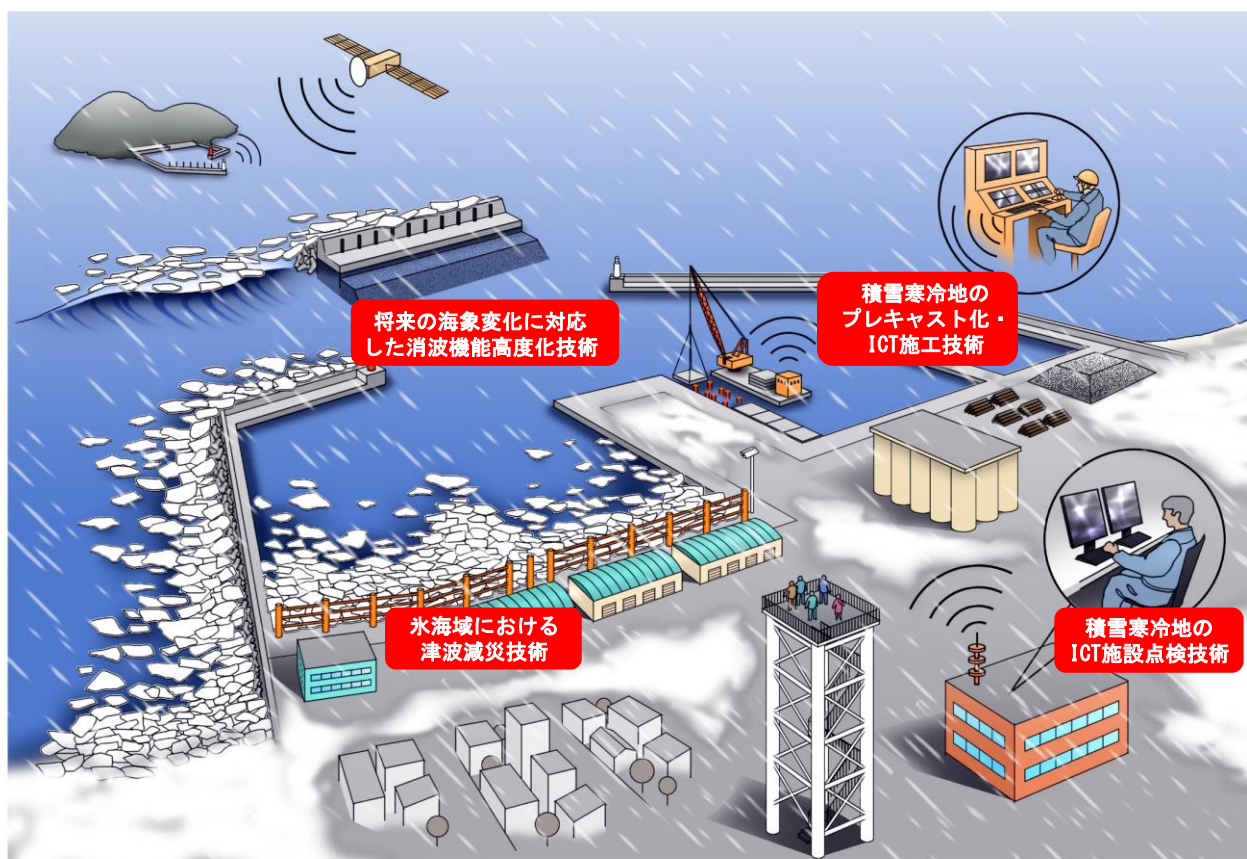


(3) 海象変化への適応と施工の生産性向上を実現した C 港

気候変動により海面の上昇と波浪の激化が起りましたが、オホーツク海側の C 港では、安全な荷役が行われています。防波堤や岸壁を整備する際に、将来の海象の変化を予測して、それを考慮していたそうです。

この C 港の沿岸は、以前、流氷の接岸時期に大津波が発生し、津波が流氷と一緒に沿岸域を襲いました。しかし、防波堤により津波の威力が弱められ、押し寄せてきた流氷もフェンスで止め、流氷を考慮した津波ハザードマップも準備されていたことから、港とその背後の市街地の被害は周辺より小さかったと報道されていました。また、防波堤や岸壁にセンサーが埋め込まれており、雪の下でも施設の被害状況が自動で把握されたそうです。このセンサーによる施設の被害を把握する技術は、離島の港にも活用されているとのこと。

さらに、積雪があり港の中も一部結氷していましたが、ふ頭を拡張する工事が進められていました。クレーンでブロックを組み立てるように工事が進められ、クレーンは無人で、オペレーターによる遠隔操作と表示されています。工事監督を行っている女性に聞いたところ、自動化とブロックを組み立てるプレキャスト化という技術が進み、作業が大変楽になったそうです。



4. 将来像実現のための重点技術開発

(1) 港湾物流の生産性向上

① 積雪寒冷港湾のターミナル自動化技術

荷役作業の遠隔化・自動化のためには、コンテナ位置や障害物の正確な把握が不可欠です。しかし、降雪時の遠隔化・自動化を実現するためには、カメラやセンサーが障害物と認識する降雪の影響を適切に除去する必要があります。このため、『積雪寒冷地仕様のセンサーの開発』や『降雪・強風等による視界不良時に対応した自動走行に関する技術開発』を進めます。なお、この積雪寒冷地のセンサーや自動走行技術は、港湾のターミナルだけではなく、漁業の省力化や建設工事の ICT 化等、様々な分野への応用も可能となります。

② 積雪寒冷地に対応した自動係留技術

自動係留装置は吸着により船舶を岸壁に固定させる装置で、真空パッドや永久磁石等といった様々な吸着方式が開発されています。しかし、気温-15℃を下回る環境での性能の確認とともに、苫小牧港での船体動揺の要因の一つとされる長周期波等の波浪条件での性能確認が必要です。このため、『積雪寒冷港湾における自動係留システムの性能の確認』や『港内の様々な波浪に対する自動係留システムの性能の確認』を進めます。

③ エプロン等の凍結抑制技術

道路事業では、凍結防止対策としてグルーピングへの弾性材充填等を行う手法が用いられており、トンネル抗口付近のコンクリート舗装で実施した例¹⁶があります。このような手法を港湾・漁港のエプロン等で活用するため、港湾・漁港の特有の荷重条件や海水の影響による耐久性の確認等、『港湾・漁港の利用特性を考慮した凍結抑制技術の開発』を進めます。

(2) 漁業の生産性向上

① エプロン上の漁業作業の最適化技術

水産物の輸出・衛生管理対策として、岸壁への屋根施設の整備を進めています。屋根の下部においては、柱等が支障となり、利用頻度の低いスペースが発生する場合があります。岸壁上は、陸揚げ、選別、荷捌き所への搬出といった各種作業が輻輳する複雑な形態となっていますが、例えば、工場の作業形態を AI により効率化する手法も開発されており、岸壁上の作業形態に適用できれば、生産性の向上はもちろんのこと、屋根の施設規模を小さくできる可能性があります。このため、『AI による岸壁上の作業形態の分析手法の開発』とともに、その分析

¹⁶ 凍結抑制舗装ポケットブック（凍結抑制舗装技術研究会、2018年12月）

手法を活用して『コスト縮減に配慮した屋根施設構造の最適化手法の開発』を進めます。

② 係留施設の多様な階層の船舶への対応技術

既存の岸壁等の施設は大型船に対応した天端高の高いものが多く、小型の船外機船等の陸揚げに利用するには労働負荷が大きいことから、これまで低天端の岸壁の整備を進めてきました。今後、拠点的な港湾・漁港への船舶の集約化の可能性があり、また、津波や高波等の災害による船舶の一時的な避難のため、大型船と小型船の利用の増加を想定する必要があります。このため、既存施設の有効活用を念頭に、例えば、大型船と小型船、それぞれの高さに合わせた2階建て岸壁といった『多様な階層の船舶の利用可能な岸壁構造・設計手法の開発』を進めます。

③ 港内静穏域を活用した水産有用種の蓄養・増養殖技術

静穏域である港内において蓄養・増養殖を実施することにより、港外と比較して移動距離が短くなることから、生産性の向上が期待できますが、所定の水質や流動を確保する必要があるため、既設の港湾・漁港施設に海水交換を促進させる機能の付加が必要となる場合があります。また、港内でのナマコ等の生息空間の創出のため、防波堤背後の盛石工や蓄養水面への投石等が行われ始めていますが、より生存率の向上を図るためには、生物に適した石の空隙率等を解明する必要があります。また、稚仔魚の密度管理や施設の清掃等の管理面も重要です。このため、『水産有用種に適した環境条件の把握』とともに、『好適環境の創出が可能な施設改良技術の開発』を進めます。さらに、UAVや観測ブイ等も活用した『蓄養・増養殖施設の運用・管理の省力化手法の開発』を進めます。

④ 施設整備による水産生物の生育環境の創出評価技術

外郭施設等の整備により、貝類等の生息範囲が増加したとの報告¹⁷があり、施設の配置や構造によっては、水産生物の生息に適した環境を創出できることが明らかになっています。今後、施設の老朽化による改良を行う場合に、水産生物の生育環境を改善できれば、港湾・漁港周辺での漁業生産の向上が期待できます。これまで、ウバガイ（ホッキ貝）やアサリ等を対象として生息環境の評価モデルが提案されていますが、その他の北海道の特有魚種を含めて生活史に関する知見が不足しており、港湾・漁港施設を十分に評価できる精度が確保されていない状況です。このため、評価に必要な資源調査・各種環境調査等の実施とモデルの改良による『施設整備による生息環境への影響評価手法の開発』を進めます。

¹⁷ 資源変動モデルによる港湾周辺海域のウバガイ稚貝の分布・成長特性の検討,海岸工学論文集,第44巻(渥美洋一,石澤健志,國田淳,関口信一郎,谷野賢二,中村義治,三船修司,山下俊彦,1997年)

(3) 北海道沿岸域のカーボン・ニュートラルの推進と海域環境の保全

① ブルーカーボンによる CO₂ 固定効果の定量化技術

海洋生物が海水中の CO₂ を取り込むことにより海域で貯留された炭素、いわゆるブルーカーボンについては、アマモ類やホンダワラ類等を対象とした調査が行われており、海洋内部への炭素貯留に寄与するメカニズムが解明されつつあります。しかし、北海道の沿岸域に生息する海藻類に関する知見が少なく、具体的な CO₂ 固定化量を算出できない状況です。このため、北海道の港湾・漁港で実施した藻場創出機能を有する防波堤をフィールドとして、『藻場における炭素固定量の算定方法の開発』とともに、水中音響計測機器や UAV を活用した『効率的な藻場分布調査手法の開発』を進めます。

② 洋上風力発電施設に作用する氷力算定技術

海岸・海洋構造物設計マニュアル（1996 年、寒地港湾技術研究センター）では、構造物に作用する氷力の算定方法が示されています。さらに、本マニュアルの策定後、サロマ湖や能取湖のアイスブームの整備等により、オホーツク海沿岸の海氷の特性や氷力の算定方法等に関する知見が北海道開発局と寒地土研に蓄積されています。オホーツク海沿岸域においても、事業者が洋上風力発電の検討が行えるよう『港湾・漁港施設の耐氷技術の洋上風力発電施設への適応』について整理を進めます。

③ 漁網等の混入によるコンクリートの靱性化技術

ケーソン式護岸のフーチングや消波ブロックの製作において、コンクリートへの短繊維の混入による靱性の向上やコスト縮減が確認されています。全国 1 位の漁業生産量である北海道の港湾・漁港において、漁網をコンクリートに混入することにより、消波ブロックのコスト縮減や足折れリスクの低減が期待され、加えて沿岸の漂着ゴミや産業廃棄物の低減の可能性もあります。このため、『漁網混入コンクリートの基本的性能の把握』とともに、『現地実証実験による漁網混入コンクリートの耐久性の確認』を進めます。

(4) 波浪や津波等の外力変化への適応

① 急速に発達した低気圧による高潮・高波発生予測技術

北海道沿岸域は、台風に加えて、温帯低気圧の来襲により大きな被害が発生します。2014 年 12 月には、24 時間で 50hPa 以上という急速に発達した低気圧、いわゆる爆弾低気圧が道東を襲い、根室港の背後で高潮の被害が発生しました。この爆弾低気圧による波浪や高潮については、現在の数値計算モデルでは再現性が低く、例えば、陸閘等の閉鎖のタイミングを予測しようとする、不確実性が高くなってしまいます。このため、現地観測とともに、気象モデル、波浪推算モデルと浸水モデルの連携と高度化が必要なことから、現地観測結果の分析と

合わせて『急速に発達した低気圧による高波・高潮発生機構の解明』を進めます。

② 吹送流・潮位変化を考慮した漂砂現象予測技術

北海道の港湾・漁港は、土砂の供給源となる河川や湖沼等の河口部に位置する 경우가多く、漂砂による航路・泊地の埋没が起り易くなっています。港内の埋没に対しては、これまで海浜流による漂砂モデルによる評価が一般的でしたが、北海道の港湾・漁港では、吹送流及び潮流等が漂砂移動の外力として作用する場合があります。海浜流による漂砂モデルでは再現性が低くなります。このため、『吹送流を考慮した三次元地形変化モデルの開発』とともに、『潮流など時系列的な変化を考慮した三次元地形変化モデルの開発』を進めます。

③ 気候変動によるマクロ的な将来海象変化の予測及び影響評価技術

気候変動による将来の波高や高潮の増大、波向きの変化といった海象変化は、港湾・漁港の施設の安定性だけではなく、港の静穏度、港湾荷役や水産物陸揚げへの支障、ターミナルや水産関連施設の浸水等、その利用に大きな影響を与える可能性があります。また、漂砂による航路・泊地の埋没にも影響を与えます。気候変動による将来予測については、文部科学省の気候変動リスク情報創生プログラムにおいて、気候変動に対する政策決定のツールとして、高解像度全球大気モデル等により、発生確率の低い極端気象の変化について十分な議論ができる「地球温暖化対策に資するアンサンブル気候予測データベース、database for Policy Decision making for Future climate change (d4PDF)」が作成されました。この d4PDF を用いて波浪や高潮の推算を行うことにより将来の海象変化を確率的に評価できる可能性があることから、『d4PDF を用いた北海道沿岸における海象変化の予測手法の開発』や『海象変化による北海道の港湾・漁港への影響評価』を進めます。

④ 将来の海象変化に対応した消波機能高度化技術

気候変動に伴う将来の水位上昇や波高増大により、防波堤の嵩上げ等、施設の改良が必要となります。この改良コストの縮減を図る必要があります。浚渫土砂を活用した防波堤背後盛土の設置による滑動抵抗の増大と伝達波高の低減が有効な手段の一つと考えられます。このため、『防波堤背後盛土による抵抗力の適正な評価手法の開発』を進めます。さらに、消波ブロックの単純な嵩上げではなく、ブロックの積み方の工夫により経済的に越波や伝達波の低減が期待できる¹⁸ことから、『消波ブロックの設置形状の工夫等による消波性能確認手法の開発』を進めます。また、低気圧の強大化や水位上昇が発生した場合、浅海域での波長が

¹⁸ 消波ブロック被覆堤改良手法の実験的研究について、寒地土木研究所月報 No.762,PP.32-36 (酒井和彦, 上久保勝美, 青井晃樹、2016年11月)

長くなる可能性があります。二重堤、潜堤、スリット式等の構造は、波長の増加により消波効果が減少する可能性があることから『消波機能の波長依存性の高い施設の改良手法の開発』を進めます。

⑤ 氷海域における津波減災技術

1952年3月の十勝沖地震で発生した津波は、流氷や結氷海域を通過したことから、氷塊を伴いながら浜中町霧多布の市街地に遡上し、家屋が多数全壊する被害が発生しました。さらに、2011年3月の東北地方太平洋沖地震津波においても、被害は発生しなかったものの、根室半島太平洋沿岸部において津波とともに遡上したと思われる海氷が確認されています。一方、大規模自然災害等のリスクに対して港湾・漁港の重要機能の確保等のための港湾BCPや漁港地域BCPの策定が進められています。港湾・漁港を含めた沿岸域における流氷の挙動に関する研究¹⁹が進められていることから、これらBCPや港湾・漁港地域の避難計画の策定支援等のため、『流氷を伴う場合の津波ハザードマップ作成手法の開発』とともに、流氷の衝突力を考慮した漂流物防止対策や沿岸部の避難施設の設計を可能にする『津波による流氷の衝突を考慮した設計手法の開発』を進めます。

(5) 積雪寒冷地の施工・維持管理の生産性向上

① 積雪寒冷地のプレキャスト化・ICT施工技術

北海道の建設従事者の減少が全国より早いスピードで進んでおり、また、建設業における働き方改革が求められています。北海道の港湾・漁港の工事実施における生産性向上を強力に進める必要があります。プレキャスト化やICT施工の積極的な導入が必要です。これまで取り組んできた場所打ち施工(RC部材)について、『プレキャスト部材を用いた構造断面の開発』を進めるとともに、冬期の工事の実施の拡大と省力化を図る『積雪寒冷地に対応したICT施工技術の開発』を進めます。

② 積雪寒冷地のICT施設点検技術

地震等の災害発生時においては、速やかに施設の点検を行い、利用可否の判断を行う必要があります。しかし、冬期に施設が雪で覆われた場合や離島等の遠隔地の場合は、施設の点検に時間を要しています。橋梁等では施設の変位等を遠隔監視するシステムが開発されていますが、北海道の港湾・漁港での活用のためには、積雪寒冷下・波浪影響下での信頼性や設置・維持管理費用等の経済性に課題があります。一方、現在、建設現場等の生産性向上を図るため、3次元モデルを活用した施設整備や維持管理を行うCIM(Construction Information Modeling,

¹⁹ 海氷群を伴った遡上津波のピロティ形式の建築物への作用に関する研究,土木学会論文集 B2(海岸工学),Vol.71 No.2,PP.I_919-I_924 (木岡信治,遠藤強,竹内貴弘,渡部靖憲,2015)

Management) の活用を推進しており、施設全体の 3 次元での座標管理が進むことから、CIM を活用した施設変位を把握する手法を検討します。また、北海道遺産である稚内港北防波ドームの補修を契機に、施設の劣化度マップの考え方が整理²⁰されました。この手法は、構造物の外観面を一定の格子状に区切り、格子毎の目視による劣化状況から、老朽化度の判定と対策方法を検討するもので、格子毎の点検と判定といった手間がかかるものの、より経済的で景観上にも配慮した補修方法を提案できます。UAV による自動撮影や画像処理による劣化確認技術が進んでおり、劣化度マップによる点検・診断を効率的に行うことが可能です。このため、『ICT を活用した遠隔による施設点検手法の開発』を進めます。

③ 積雪寒冷地におけるコンクリートの自己治癒技術

港湾・漁港施設のほとんどはコンクリート構造物であり、特に、鉄筋コンクリートの劣化対策としては、ひび割れの防止が重要となります。現在、その対策として、ひび割れをバクテリア等により自動修復させる「自己治癒コンクリート」の開発が進められており、施設の老朽化対策の省力化技術として有効な手段と考えられます。自己治癒コンクリートとして様々な手法が提案されていますが、港湾・漁港施設特有の環境条件である塩害に対しては十分に検討されておらず、『自己治癒コンクリートの海洋構造物への適用性の確認』を進めます。

④ 取水施設の維持管理効率化技術

水産物の衛生管理対策の一つとして、沖合等からの取水施設の整備が進められています。しかし、沖合取水管の付着物等により機能が低下する場合があります、管内洗浄等の維持管理手法の確立が必要となっています。マルチビームや ROV による効率的な点検手法や港湾・漁港で比較的入手し易い製氷による付着物除去方法等、『取水管の点検・清掃手法の確立』や『維持管理を考慮した取水口構造の開発』を進めます。

²⁰ 劣化度マップを活用した稚内港北防波堤ドームの予防保全型維持管理,土木学会論文集 E2(材料・コンクリート構造),Vol.76 No.4,PP.270-282 (長谷一矢,横田弘,佐藤靖彦,2020 年 10 月)

5. 技術開発の進め方

(1) 関係機関の連携体制

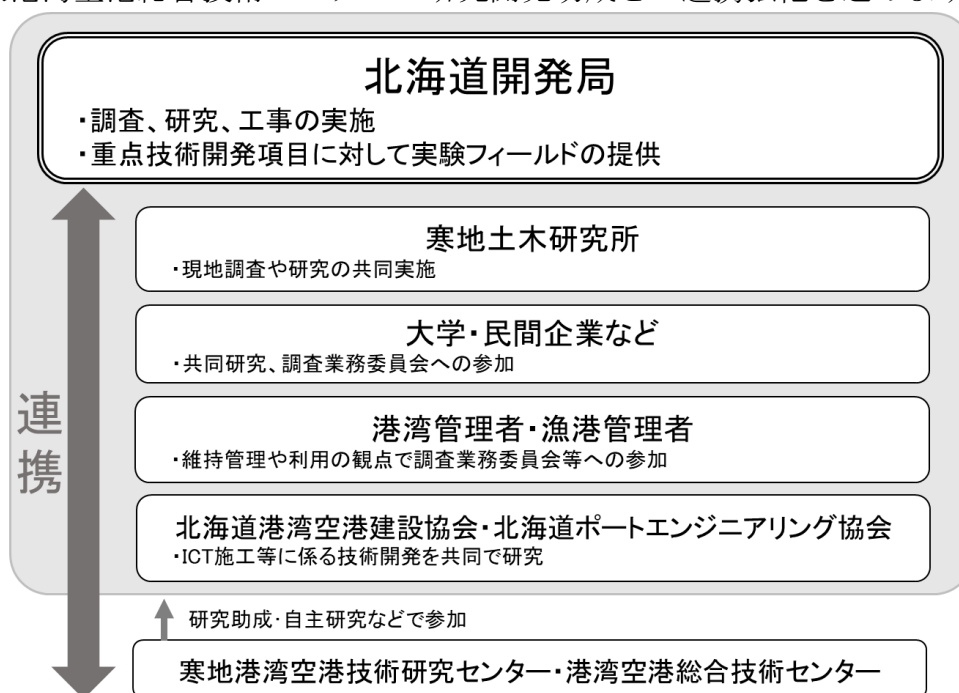
将来像実現のため前章で整理した重点的に技術開発を行う各項目（以下、重点技術開発項目）を概ね10年間を目標として進めるためには、北海道開発局のみならず、様々な機関との連携が必要不可欠です。

北海道開発局は港湾・漁港の直轄事業の実施機関として技術開発の中心的な役割を担い、重点技術開発項目に係る調査については各研究機関の有識者と連携して効率的・効果的に進めます。また、北海道開発局の現場を、本ビジョンに係る技術開発の実験フィールドとして各研究機関に対して積極的に提供します。

寒地土研は、その役割を「土木技術に係る我が国の中核的な研究拠点として、質の高い研究成果を上げ、その普及を図ることによる社会への還元等を通じて、良質な社会資本の効率的な整備及び北海道の開発の推進に貢献し、国土交通政策及び北海道開発行政に係る農水産業振興に関するその任務を的確に遂行するもの」としています。本ビジョンに掲げた技術開発に当たっては、わが国唯一の寒地土木技術の試験研究機関である寒地土研との連携を強化します。

重点技術開発項目については港湾・漁港の管理や運営に係るものが多いことから、港湾管理者や漁港管理者との連携はもちろんのこと、船社、港湾運送事業者や漁業者からのニーズを十分に把握し、利用し易さを前提とした技術開発を進めます。さらに、港湾・漁港の工事や調査業務のノウハウを有する北海道港湾空港建設協会や北海道ポートエンジニアリング協会との連携を強化します。

また、一般社団法人寒地港湾空港技術研究センターの自主研究事業や一般財団法人港湾空港総合技術センターの研究開発助成との連携強化を進めます。



(2) 技術開発アドバイザー

本ビジョンの技術開発に係る調査については各研究機関の有識者と連携して効率的・効果的に進めますが、特に、ビジョン策定にあたり協力を頂いた有識者の方については「技術開発アドバイザー」とし、技術開発を進める計画、調査、実施等の各段階において助言を頂きます。

技術開発アドバイザー一覧（五十音順）

氏名	所属	研究分野
江丸貴紀	北海道大学 大学院工学研究院 機械・宇宙航空工学部門 人間機械システム分野 准教授	ロボティクス、 知能機械システム
木村克俊	室蘭工業大学 大学院工学研究科 もの創造系領域社会基盤ユニット 教授	海岸工学、港湾工学
櫻井 泉	東海大学 生物学部海洋生物科学科・大学院生物学研究科生物学専攻 教授	水産増殖学、水産生物学、 海洋生態学
白石 悟	北海道科学大学 工学部都市環境学科・大学院工学研究科都市環境学専攻 教授	海岸工学、 環境エネルギーシステム
山下俊彦*	北海道大学 大学院工学研究院 土木工学部門 自然災害適応分野 特任教授	海岸工学、水産工学、 沿岸環境工学
山本泰司	北海道科学大学 工学部都市環境学科・大学院工学研究科都市環境学専攻 教授	海岸工学、港湾工学
横田 弘	北海道大学 大学院工学研究院 土木工学部門 社会基盤マネジメント分野 特任教授	構造工学、地震工学、土木材料、 施工、建設マネジメント
渡部靖憲	北海道大学 大学院工学研究院 土木工学部門 自然災害適応分野 教授	海岸工学、海洋工学
渡部要一	北海道大学 大学院工学研究院 土木工学部門 社会基盤マネジメント分野 教授	土木環境システム、地盤工学

※北海道港湾・漁港の技術開発検討委員会委員長

(3) ビジョンの浸透

これまでの北海道の港湾・漁港技術ビジョンは、北海道開発局職員や関係者への浸透が十分ではなく、技術開発を進める上での大きな反省点となりました。このため、職員向けの研修に位置付けるとともに、各職員が様々な場面で本ビジョンを紹介していきます。また、技術開発アドバイザー等とも連携して、大学生向けの講義に取り組んでいきます。さらに、関連する工事・業務の実施においては、本ビジョンを踏まえた技術提案のテーマを設定・評価を行うことで、本ビジョンの職員と関係者への浸透を図るとともに、技術開発が進むよう誘導していきます。

6. 開発した技術の社会実装の方策

これまでの北海道の港湾・漁港ビジョンは、技術開発の方向性を示すものとして役割を果たしたものの、コストの問題や広報の不足等の原因で開発した技術が実際に利用されていないこともありました。この章では、開発した技術の社会実装を促進するための「仕掛け」について整理します。

(1) 新たなプロジェクト評価手法の検討

重点技術開発項目の中には、港湾物流や漁業の生産性向上を目指した技術が含まれていますが、新たな技術を含むプロジェクトの採択にあたっては、いわゆる B/C で十分な費用対効果が確保されている必要があります。現在、省力化を図るプロジェクトの評価については、単純に縮減される作業員の数や短縮される作業時間を貨幣価値化するに留まっており、その便益が新たな技術を含むコストに見合わない場合が考えられます。

しかし、これからは港湾物流や漁業等の就業者数が減少する前提で事業実施を考える必要があります。生産性向上を図るプロジェクトが進展しないと、食料品等の生産・供給機能が低下し、さらには地域の経済活動に大きな影響を与えることとなります。このため、作業時間の単純な貨幣価値化ではなく、経済活動や地域社会の維持等の観点から、生産性向上を図るプロジェクトを積極的に評価できる手法の検討に着手します。

また、水産基盤整備事業費用対効果分析のガイドライン（2020年5月改訂、水産庁漁港漁場整備部）においては、藻場を創出した場合のCO₂固定化や水質浄化による便益算定手法が整理されています。従来のガイドラインの手法に加えて、このようなカーボン・ニュートラルに関わる技術を積極的に導入するため、ブルーカーボンによるCO₂削減量等の貨幣価値化を検討します。

(2) ブルーインフラ化の推進

北海道の港湾・漁港においては、これまでも防波堤背後への盛土の構築等により、港湾・漁港施設を活用して海藻類等の水産生物の生息場所を積極的に創出してきました。このような水産生物の生息場所を創出する工夫を凝らした港湾・漁港施設をブルーインフラと位置付け、カーボン・ニュートラルに貢献する施設のブルーインフラ化を進めます。例えば、浚渫土砂が発生する港湾・漁港においては、防波堤背後での盛土の構築を土砂処分の選択肢として必ず検討することとし、ガイドラインの作成や既存研究成果の整理を行います。これにより、ブルーカーボン等に関する技術の社会実装を推進するとともに、防波堤の粘り強い化も進め、将来の海面水位の上昇や波浪の強大化にも備えます。

(3) 新技術の採用余地の確保

事業実施のタイミングでは技術開発が十分でない場合、将来その技術が確立した際に円滑に導入できるよう備えることが重要です。

例えば、ターミナルの自働化についての技術開発が間に合わず、従来の方法でターミナルを整備する際には、将来の自働化に向けて、通信施設のエプロンへの埋め込みの余地等を検討します。

また、気候変動による外力の増大に対して、現行の設計確率を踏まえ、50年後の波浪・水位条件で改良するという考え方では、その後の更なる改良の際に、地盤改良のやり直し等、多大な整備コストが発生する可能性があります。気候変動への適応技術については、長期的な海象変化に対して段階的な整備を可能にすることを前提に、消波工の設置形状の工夫等、新たな改良方法の技術開発を進めます。

(4) 施工省力化技術の従来技術との比較方法の見直し

工事における省力化技術として、プレキャスト部材の構造断面の開発と積雪寒冷地に対応した施工の技術開発を進めることとしました。プレキャスト部材の可否については、構造設計や施工検討等、工事实施前の調査の段階で決まることがほとんどですが、残念ながら、コストの観点でプレキャスト部材が不採用となるケースが多い状況です。

迫り来る港湾・漁港工事に係る技術者不足へ対応するため、2024年度における建設業の時間外労働の上限規制も踏まえ、調査段階におけるコスト試算の方法の見直しやプレキャスト部材の検討条件の整理を、道内の港湾・漁港関係のコンサルタント等と連携して行います。例えば、現場施工のコスト試算においては、昨今の技術者不足や週休2日工事によるコスト増を適切に反映するとともに、施工条件としての工期の制限や供用開始時期を踏まえたコスト面以外の要素を加味したプレキャストの選定方針を整理します。

(5) 技術基準への反映

港湾の施設の技術上の基準・同解説（日本港湾協会、以下、基準同解説）は、1950年の港湾工事設計示方要覧を皮切りに、各時代の要請を背景に変遷が繰り返され、現在に至っています。また、設計基準という役割に加え、港湾で開発された技術が盛り込まれており、港湾技術の集大成としての役割も担っています。

さらに、わが国の港湾技術を世界に広報・普及することを目的として、これら基準の英語版も作成されてきました。また、近年では、国内基準の海外展開を念頭に、海外で多く見られる施設に関する内容が拡充され、ベトナム国の新しい国家技術基準の策定にも活用されています。

この基準・同解説には、北海道の港湾・漁港で研究された成果も多数採用されており、開発した技術の社会実装に繋がっています。一方、氷力に関する研究と

いった北海道の特有の問題に関しては、十分な記載がない状況です。

本ビジョンに基づく技術開発については、基準・同解説に掲載されるよう、個別の条件の検討に留まらず、全国あるいは世界各地で適用できるよう様々な条件での評価を実施します。また、サロマ湖等で整備したアイスブームは海氷の動きを制御する世界でも珍しい施設です。気候変動による北極海航路の利用増加等により、海氷制御技術等の需要増の可能性があることから、積雪寒冷地に関する開発した技術についても、アイスブーム等の既存技術も含めて、基準・同解説へ掲載を念頭に検討や整理を行うとともに、国際的な学会等での研究成果の発信に努めます。

7. おわりに

本ビジョンは、2011年4月に公表された北海道の「みなと」と「技術開発」（以下、2011年ビジョン）の後継版です。2011年ビジョンは、東日本大震災の直後の混乱の中で、最終的な取り纏めと公表が行われ、これまで我々の技術開発の指針としての役割を果たしてきました。

しかし、人口減少や気候変動は当時の想定以上のスピードで進み、加えて、突然の新型コロナウイルス感染症の拡大により、技術開発を取り巻く環境も大きく変わりました。本ビジョンは、「北海道港湾・漁港の技術開発検討委員会」を設置し、北海道大学大学院工学研究院山下委員長のご指導の下、約3年間の議論により整理したものです。また、議論の中では、「持続可能」をテーマとした技術開発については、その具体的内容までは現段階において設定はできないものの、引き続き検討を進めるべき項目も多数あったことから、これについては巻末の継続検討項目として整理することとしました。

今後、本ビジョンに基づき、技術開発を進めますが、社会の大きな変化があれば柔軟に見直しを行います。

最後に、策定に至るまで御指導いただいた「北海道港湾・漁港の技術開発検討委員会」の山下委員長をはじめとする各委員に厚く感謝の意を表します。