

報文集

平成22年度



報文集 第22号 目次

国営農地再編整備事業の水田区画整理における設計上の留意点.....	1
	佐藤 紳一
用水路改修における工法の選定.....	13
	真田 栄一
長大サイホンにおける機能診断調査.....	21
	佐藤 実
肥培かんがい効果検証調査結果を用いた営農支援.....	33
	酒井 邦晴
富士見地区の環境モニタリング調査について.....	47
	青山 裕俊
雪を利用した農産物貯蔵システムの研究.....	55
	川瀬 智久

国営農地再編整備事業の水田区画整理における設計上の留意点

佐藤 紳一

1. はじめに

区画整理は、一義的には狭小錯綜して作業効率の悪いほ場区画を大型化し、農用地の効率的利用と労働生産性の高い基盤を形成する農地整備工種である。あわせて、土地の区画形質の改善と水田からの地目変換による開畑を一体的に施工し、農地の利用集積を進め大規模稲作複合経営の展開を促進し、低コスト高生産性農業と集約型農業を推進するものである。

これらの目的を実現するため、水田の大区画化、乾田化及び暗渠排水や客土等の土層改良対策、農道整備、用・排水路整備などの総合的な整備を行うものである。

1-1. 区画の現状

国営農地再編整備事業における既水田区画の現状をみると、道営ほ場整備等の前歴整備事業が実施されているものの30～50 a以下の区画が大半を占めており、以下のような現状が認められる。

- ① 小区画、不整形ほ場で、農作業に手間がかかっている。
- ② 耕作地が分散しているため、通作に時間がかかり、農作業が分断されて作業効率が悪い。
- ③ 農道が整備されていないため、資材の搬入や農産物の搬出に手間がかかっている。
- ④ 排水路が整備されていないため、大雨の時に度々湛水被害を受ける。
- ⑤ 用水路網が整備されていないため、水管理や施設の維持管理に手間がかかっている。

1-2. 整備後の効果

国営農地再編整備事業がめざす区画整理の大きな特徴は、将来を見据えて農地集約することを事業の最大目標と定め、1 耕区（標準区画）1.0ha以上の大区画ほ場を形成することである。（写真-1）

一般的な整備後の効果としては、下記が期待される。

- ① 労働時間が短縮される。
- ② 農地の貸借がし易くなる。
- ③ 道路からすぐほ場に入出りできる。
- ④ 新たな営農の展開が可能となる。
- ⑤ 用排水路の分離により、用水管理の省力化、排水促進、水質改善等が期待される。
- ⑥ 河川や道路との一体的な整備により、地域開発以外に生活環境整備にもつながる。
- ⑦ 財産的価値が高くなる。

国営農地再編整備事業として施工する区画整理事業は、現下の農家要望を基礎としつつ、国営事業としての将来的な先導性、展示性や担い手育成、営農集団経営、地域活性化といったキーワードに象徴される整備水準を地域の状況に合わせ、一定の規律のもとに具体化する必要がある。



写真-1 1.0haの大区画ほ場

2-1. 区画の定義

区画の定義として「農区」「ほ区」「耕区」で構成され、それぞれ土地利用計画上の単位となる。

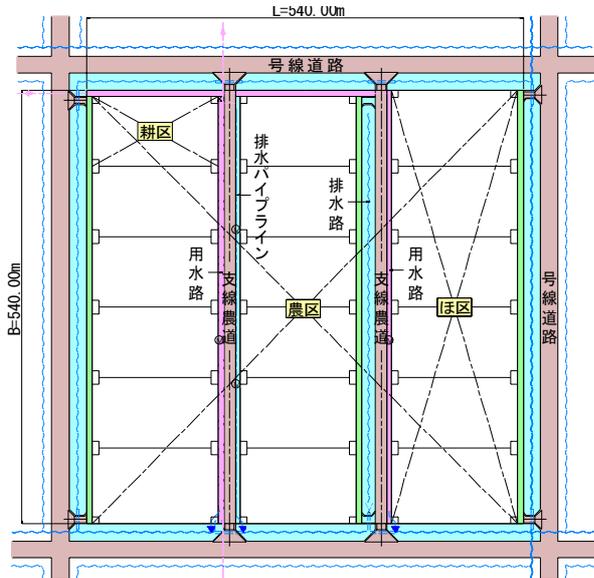


図-1 標準区画

2-2. 区画の基本要件

区画計画は、営農条件を考慮し区画の形状、規模を決定するものであり、大区画(1.5ha以上)ほ場の設定可否は、地形及び土壌条件に大きく左右される。

泥炭土壌の場合は、「圧縮性が高く、せん断強度が低い」という物理的に劣悪な性質を有しており、基盤整備にかかわる各種の工事において、さまざまな障害をもたらすことが予想されるため、区画計画の大きな制限要因である。

区画計画上の課題は、基盤整備後の均平化対策であり、区画面積と長辺長及び土壌条件が均平精度の低下の大きな要因とされる。

また、その他の要素として営農上の管理対策がある。

特に軟弱地盤帯(泥炭土)の場合では、「大区画ほ場の適正規模」に留意する必要がある。

2-3. 適正規模

大区画ほ場の適正規模に関しては、『H12年度、泥炭分布地域における大区画水田の適正規模と管理対策』において、「大区画ほ場の適正規模」、「営農上の管理対策」、「大区画ほ場の基盤整備上の改善点」等が、道農業試験会議指導参考事項としてまとめられている。(表-1)

区画計画における「適正規模」の決定にあたっては、これらを参考に計画することが肝要である。

なお、この資料では、石狩川水系を対象としているが、他の泥炭地水田地帯においてもこの成果を有効活用していくべきと考える。

〈参考〉

『泥炭分布地域における大区画水田の適正規模と管理対策』

表-1 H12年度 道農業試験会議
指導参考事項

石狩川水系における大区画ほ場の適正規模

泥炭層厚区分	泥炭層厚区分			
	10m以上	10m未満5m以上	5m未満	未分布
表層集積型	長辺長130~170m	長辺長130~170m	長辺長170m	長辺長
	短辺長40m	短辺長40~60m	短辺長40~60m	170~250m
	面積0.5~0.7ha	面積0.5~1.0ha	面積0.7~1.0ha	短辺長
中下層集積型	長辺長130~170m	長辺長170m	長辺長170m	40~80m
	短辺長40~60m	短辺長40~60m	短辺長40~80m	面積
	面積0.5~1.0ha	面積0.7~1.0ha	面積0.7~1.4ha	0.7~2.0ha
互層型	長辺長130~170m	長辺長170m	長辺長170~250m	
	短辺長40~60m	短辺長40~80m	短辺長40~80m	
	面積0.5~1.0ha	面積0.7~1.4ha	面積0.7~2.0ha	

大区画ほ場の営農上の管理対策

項目	営農上の管理対策
用水管理	・長辺長が200m以上では額縁明渠を設置 ・50a程度には、ほ場内明渠が必要
排水管理	・落水口敷高を田面下15~20cmとする
防除方法	・防除効率化のため乗用型管理機導入などの検討が必要

大区画ほ場の基盤整備上の改善点

項目	留意点及び改善点
長辺長	・泥炭層厚、現有機械性能を考慮
短辺長	・整備後の防除法や作業体系を考慮
水口	・用水量が不足しやすい地域では50aに1ヶ所、長辺長が200m以上では両端短1辺(2ヶ所)に配置
落水口	・区画面積が1ha以上では50aに1ヶ所、長辺長が200m以上では両端短1辺(2ヶ所)に配置
暗渠排水	・区画面積が1ha以上では集水域を50a程度にする ・長辺長が200m以上では水閘を両端短辺(2ヶ所)に配置

2-4. 区画計画

区画計画にあたっては、地域農業の「将来を見据えた区画計画」と「整備水準の均一性確保」が重要である。(図-2)

設計業務においては、地形条件等から施設配置を含めて大区画化の可否を検討する必要があり、現況と同規模の「小さい区画」を要望しても地形的に大区画が可能条件下にある場合は、農家の営農状況を確認しながら、関係機関の意見を踏まえ「将来を見据えた大区画化」を提案する必要がある。

なお、地形上、大区画化が困難な条件下の場合は、経済性を含めて大区画化が「できる・できない」について、農家に十分説明し理解を得る必要がある。

農家が小区画を希望した場合は、均平区(基盤は大区画で造成し、畦畔により小区画割りに分割しておく。畦畔撤去により将来の大規模化に対応する)を提案することが望ましい。(図-3)

均平区を取り込むことで、将来的に耕区の拡大(標準区画の短辺60m以上を確保)が容易になり、将来の営農規模に合わせた作業の実現及び営農作業のコスト縮減が可能となる。

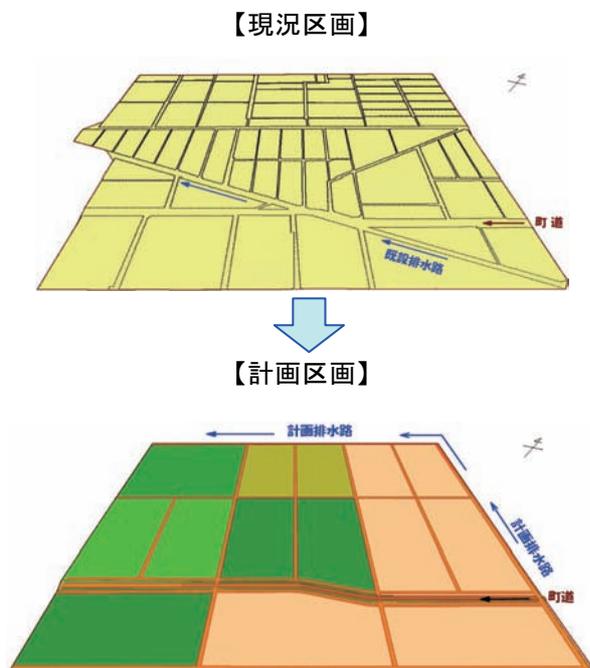


図-2 区画割図

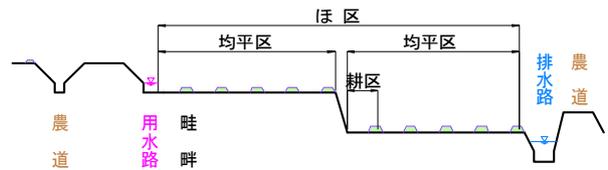


図-3 均平区概念図

2-5. 作業効率

従前面積に対し、計画される標準区画における作業効率の増加例を示す。(表2～表4)

大型ほ場を形成することで、各作業効率が従前に比べ、約10%程度の増加が伺える。

これらを農家に十分説明するとともに、今後は農業の大規模稲作複合経営の確立や、施設のストックマネジメントによる長寿命化が重視される中、施設管理(排水管、暗渠、その他全般)方法の再構築を図っていくことが重要である。

なお、完了地区においては、基盤整備後の営農作業時間調査、転作作物の生育、収量調査等の効果追跡調査も行われているため、今後の計画・設計に反映されるものと思量される。

表-2 区画規模と農業機械作業効率の例1

作業区分	対象機種	作業効率 (%)		増加率%
		従前 (A=0.3ha)	計画 (A=1.5ha)	
耕起	トラクター (44.1kW)	82	91	9
移植	田植機 (7.8kW)	47	60	13
収穫	自走型コンバイン (58.8kW)	69	81	12

表-3 区画規模と農業機械作業効率の例2

作業区分	対象機種	作業効率 (%)		増加率%
		従前 (A=0.5ha)	計画 (A=1.3ha)	
耕起	トラクター (44.1kW)	82	91	9
移植	田植機 (7.8kW)	56	63	7
収穫	自走型コンバイン (58.8kW)	76	82	6

表-4 区画規模と農業機械作業効率の例3

作業区分	対象機種	作業効率 (%)		増加率%
		従前 (A=0.5ha)	計画 (A=2.2ha)	
耕起	トラクター (44.1kW)	82	92	10
移植	田植機 (7.8kW)	52	63	11
収穫	自走型コンバイン (58.8kW)	72	85	13

3. 各工種の留意点

3-1. 整地工

従来、大区画ほ場整備では、表土を1ヶ所に集積した後、基盤切盛により心土を移動させ、基盤を造成後に表土を戻す切盛工法（在来工法）が行われている。

この工法は、心土の移動に比べ表土扱い（表土はぎ戻し）が大きな工事費のウェイトを占めている。

これに対し、コスト縮減を図る目的から、反転均平工法が導入された。

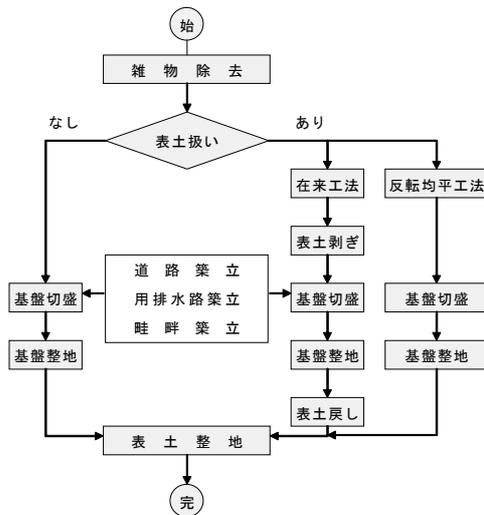


図-4 区画整理作業工程

(1) 反転均平工法の特徴

反転均平工法は、反転プラウで表土と心土を反転させ、ブルで心土を移動させて均平した後、再びプラウで表土を反転させ均平するものである。

表-5より、反転均平工法では表土扱いの運土量が省略されるが、採用にあたっては、現況田差（0.80m以下）条件や現況表土厚の制約を受ける。

この工法は、耕起基盤面を一定として反転するため、表土厚が不均一なほ場では表土に心土が混入し、作物へ悪影響を与える事が懸念される。

また、表土の下層が泥炭土の軟弱層の場合、耕作機械のトラフィカビリティーを確保するため、15cm～20cm程度の難透水層の役割をする鋤床層が必要となる。

(2) 工法選定の留意点

整地工法には、コスト縮減や透排水性の確保が大きく期待できる反転均平工法と、従来の表土をはぎ、基盤を造成し再び表土を戻す切盛工法がある。

切盛工法の1,280千円/haに対し、反転均平工法は1,170千円/haとなり、反転均平工法が経済的に有利となる。

しかし、反転均平工法の選定にあたっては、前述のように制約条件があり、設計段階からの採用に難がある。

設計業務における現況表土厚調査は、1haに1点（ほ場の概ね中央付近）の調査であり、ほ場全面の表土厚の確認が難しい状況である。

特に、泥炭土の場合、土質的要因から田面が片側に沈下している傾向があり、表土のバラツキが大きく、数値的に表土厚把握の不確定要素が大きい状況である。

また、施工実績によると、北海道のような寒冷地で湿潤な期間に施工すると、走行時の転圧やこね返しが整備後の土壌条件を悪化させる原因となり、反転均平工法は施工期間にも制約される。

以上より、整地工法の選定にあたっては、反転工法の適否条件の他、施工時期、表土厚、表土厚のバラツキ状況などについて、営農上における受益者の聞き取り等を踏まえ選定する必要がある。



写真-2 整地（レーザーレベラー）

表－5 従来工法と反転均平工法の比較

整地 地 工 法	作業名	従来工法（ブルドーザ）		反転均平工法（レーザーブラウ、レベラー）	
					
特 全 体		<ul style="list-style-type: none"> ・ほ場が多少湿潤状態でも施工が可能である。 ・鉄クローラによる走行であるため、過転圧が発生し、透・排水性が悪化する場合がある。 		<ul style="list-style-type: none"> ・ほ場が乾いていることが施工条件である。 ・ゴムクローラトラクタによる牽引作業であり作業速度が速く、土壌の練り返しや過転圧が少ない。 ・区画を統合する範囲内の水田標高差に制限がある。 ・作業機の高さがレーザー機器によって自動的に制御されるため、オペレーターは熟練を要しない。 	
	表土扱い	<ul style="list-style-type: none"> ・表土を一旦集積し、再び戻すため、田面標高差に関係なく一定の作業時間を要する。 ・現況の表土厚に合わせ、随時表土を剥ぎ取ることができる。 		<ul style="list-style-type: none"> ・表土と心土をブラウによって同一場所で反転することから表土の移動が少ない。 ・ブラウによる反転のため、表土に心土が若干混じる。 	
	運土作業	<ul style="list-style-type: none"> ・田面標高差に関係なく運土ができる。 		<ul style="list-style-type: none"> ・表土の運土がないため、従来に比べ運土量が少ない。 	
	整地作業	<ul style="list-style-type: none"> ・均平作業に時間を要する。 		<ul style="list-style-type: none"> ・区画の大小に関わらず短時間に高精度な施工ができる。 	
工 程	表土ハギ	湿地ブルドーザによる表土ハギ		なし	
	基盤切盛	湿地ブルドーザによる掘削押土		<ul style="list-style-type: none"> ・トラクター＋耕ブラウによる耕起 ・湿地ブルドーザによる運土 	
	基盤整地	湿地ブルドーザによる整地		<ul style="list-style-type: none"> ・トラクター＋レーザーレベラーによる整地 	
	表土戻し	湿地ブルドーザによる表土戻し		なし	
	表土整地	<ul style="list-style-type: none"> ・特装车による運搬土 		<ul style="list-style-type: none"> ・特装车による運搬土 	
	客土	<ul style="list-style-type: none"> ・湿地ブルドーザによる整地 		<ul style="list-style-type: none"> ・トラクター＋レーザーレベラーによる整地 	
経済性		1,280千円/ha	1 : 1.1	1,170千円/ha	1 : 1.0

3-2. 地下かんがいシステム

(1) システムの導入目的

これまでの水稲中心の経営から、畑作を取り入れた汎用化を基本とした営農に転換し、新たな作物の導入等を積極的に行っていくため、暗渠排水を活用した用・排水管理に暗渠機能保全を付加した「地下かんがいシステム」を採用し、営農条件に適合した用・排水整備水準を向上させることを目的とする。

稲、麦、大豆を核とする水田畑作複合農業で経営を安定させるためには、農地集団化を伴った区画規模拡大による農作業時間の短縮・低コスト化とともに、均質でかんがい排水条件の整備された生産基盤による各作物の高品質化と収量安定化を追求する必要がある。

これを実現するためには、品種改良や栽培技術の確立とともに、ほ場整備によって、大型機械化農業

体系を実現する上で必要な「ほ場の大区画化」や水稲栽培時における水管理の省力化、適正化を図る必要がある。

一方、暗渠システムを利用した地下かんがいによる用水補給は、今後の水稲直播栽培の展開に不可欠である。

また、畑作時の湿害や干ばつ対策、機械化作業体系で最大の問題になっている除草労力の縮減などを図ることが重要視されている。

従来までのほ場整備事業は、田畑輪換を進めるために排水路を深くし湛水被害を防止し、透水性の悪いほ場は暗渠排水を施し近代化農業の推進に大きな役割を果たしてきた。

しかし、汎用化が図られたにも関わらず、未だに田畑輪換が定着していないのが現状で、転換畑ではかんがい用水を利用するという観念が不足していた。

(3) システムの特徴

a) 水田への給水・排水・水位設定が農道側（同一場所）で集中して行えるため、水管理の操作的確性と省力化が図れる。（写真－3）

b) 水田の水位設定が確実で無効放流が少なく、用・排水路のパイプライン化により、水の水頭損失や水田からの漏水も少なくなり、「水の有効利用」が図れる。

c) 水稲や畑作物の各々の生育期に合わせた適正な水管理が容易となり、水稲直播栽培には不可欠である。

特に畑作物は、降雨時の過湿被害を避けるための速やかな表面排水や、適正な「地下水位の維持」が可能となり、発芽揃いや発芽率の向上が図れる。

d) 泥炭土壌の場合、泥炭層の乾燥と分解に起因したほ場の不陸に対して、地下水位を均一に保つことで「不同沈下」を抑制する。

e) 用・排水路をパイプライン化することで潰地が少なくなり、また、管理ユニットがコンパクトであり余分な場所をとらないことから、「土地の有効利用」が可能である。

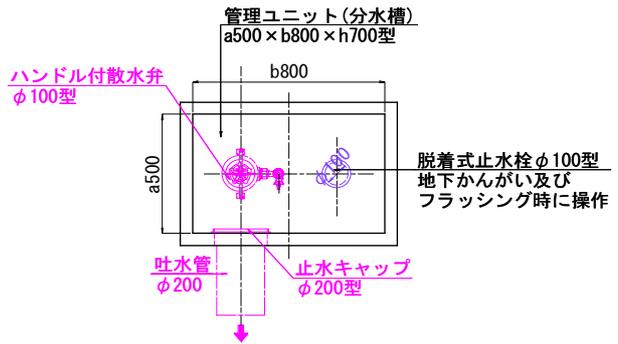
f) 水田の漏水が少なくなるため、肥料や農薬の使用量を減らすことが可能であり、排水を少なくすることで「環境保全」が図れる。

一方で、短所として用・排水路をパイプライン化することで用・排水路空間を閉じることから、動植物の生息空間を狭め環境保全への負要因となる。

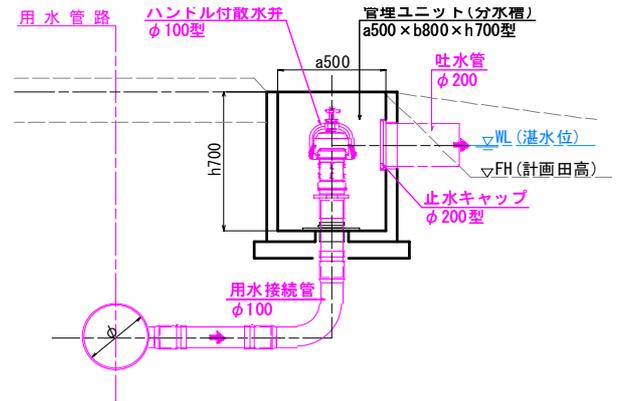


写真－3 システム配置

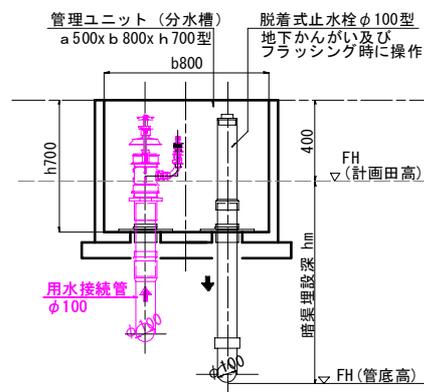
・平面図



・断面図



・側面図

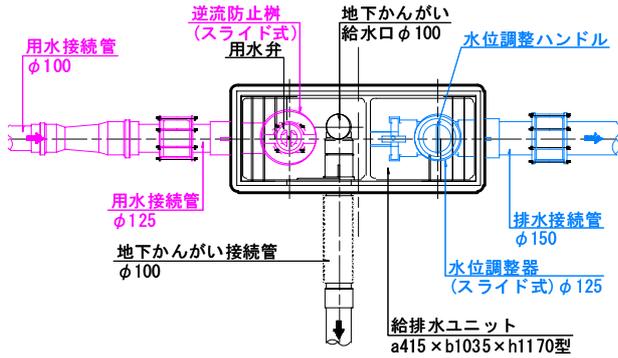


図－7 管理ユニット（例1）

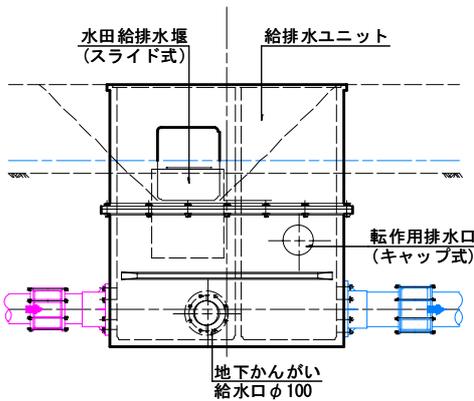


写真－4 管理ユニット（コンクリート樹）

・平面図



・断面図



・側面図

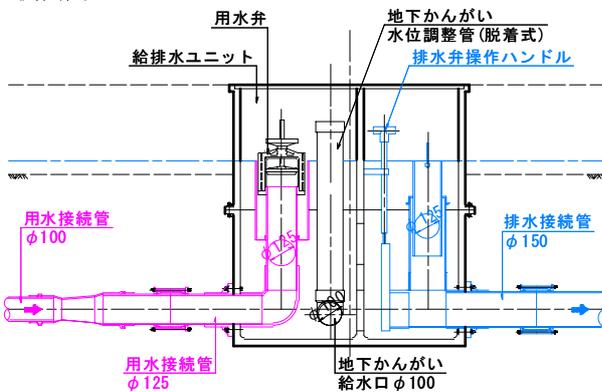


図-8 管理ユニット (例2)



写真-5 管理ユニット給排水ユニット (樹脂製柵)

(4) システムの効果

従来の暗渠は、管内の土砂、水あかを流し出す方法として、管出口から洗浄したり、吸水渠に各々管理孔を設けて用水路等に直接接続し、通水により管理作業を行っていた。

また、建設してから10年程度に1回の更新を行ってきたのが現状である。

このシステムを採用することによって、従来方式の地表残留水及び地下の余剰水を効率的に排水路に排出する機能に加えて、フラッシング作業による施設の機能保全が可能となった。また、定期的に水ここの開閉を行い、フラッシング作業により暗渠内の堆積物を流し出すことで、泥炭地においては赤錆等の発生が少なくなり、暗渠落口となる開水路及び排水管路の泥さらいや除草等を定期的に行うことで、排水効果を持続させることが期待できる。

フラッシングは、水ここの閉じて管内にいっぱい水を貯めてから水ここの開け、急激に水を流し出す作業を年に数回行う。さらに、水ここの数回急激に開閉し、水の流れに衝撃を与えると効果的である。

このように、暗渠施設の機能保全対策の実施を通じて、施設の有効活用や長寿命化を図り、ライフサイクルコストを低減し、施設機能を保全する営みを合理化、効率化するものであり、これまで建設、管理、更新とそれぞれ個別に対処してきた内容について、総合的かつ長期的視点に立って考えた施設である。

[水稲時の効果]

a) 無代掻き移植や乾田直播が可能となり、代掻きを行わないと土壌が還元状態になりにくいことから中ぼしが不要となり、生育期間中湛水を続けることにより冷害を回避できる。

乾田直播時に種モミの浮上を防止するため、地下かんがいは不可欠である。

b) 従来方式では、中ぼし期に落水した場合、排水路側は過乾燥、用水路側は湿潤な状態となるが、地下かんがいによって地下水位を一定に保つことで水田全体が均一に乾く。

c) 中ぼし後に水を入れると、過乾燥状態で急激に湛水するため、稲の根は酸素不足となり根腐れを起こす。

そこで、間断かんがいが行われているが、これは多くの用水ロスと労力を必要とする。

また、一旦過乾燥状態になった水田は、亀裂等により漏水も多くなり、極端に水の使用量が増加するのみならず、肥料や農薬が外に流出して環境汚染を引き起こす恐れがある。

これらは、地下かんがいによって水位を一定に保てば、田面には水が無くとも根に酸素を供給しながら生育に必要な水が供給される。

d) 用水側に設置する管理ユニットからも田面排水ができるため、排水の迅速化が図れる。

[畑作時の効果]

a) 干ばつ時における作物への水分供給が可能となり、湿害と干ばつを回避でき作物の安定した生産が図れる。

b) 転作を続けると畦畔や下層土に亀裂が入り、水田に戻したときには水持ちが悪くなるが、地下かんがいを行うことにより水田としての機能が持続する。

c) 水田を乾燥させ過ぎると、有機物分解が進行し地力が極端に低下するが、地下かんがいを行うことで地力維持が可能となる。

d) 水田において、畑作物を連作すると畑雑草が繁茂するとともに、病気や害虫被害、連作障害等が発生するが、田畑輪換によってこれらが回避され、畑地よりも理想的な畑作が行える。

e) 用水側に設置する管理ユニットからも排水ができることから、迅速な排水が行える。

f) 地表かんがいを行うと、畑作に必要な土壌の団粒構造を壊す恐れがある。

また、播種、定植時における種子や苗の流亡、スプリンクラーかんがいでおこりがちな飛散土粒子や菌の付着が発生するが、これらは地下かんがいによって回避できる。

(5) 留意点

排水の悪いほ場で、秋まき小麦、大豆を連作する場合、地下かんがいにより湿潤状態が長期間続くことで、土壌から病原菌が伝染することがある。

地下かんがいを有効に活用するためには、適正な輪作体系の確立が必要である。

土壌条件によっては、水分供給の差による生育差が生じる。

この場合は、心土破碎や補助暗渠の施工により排水を促進させるとともに、地下水位の均一性を確保させる必要がある。

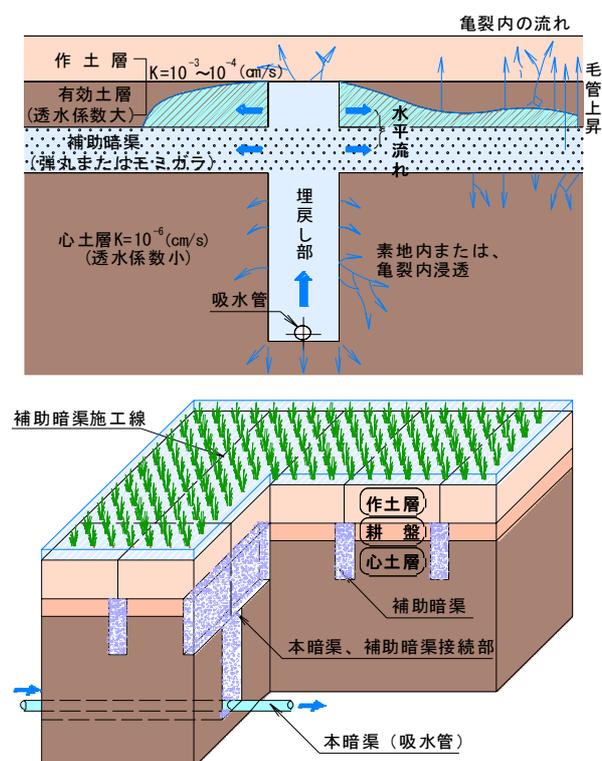
(6) 補助暗渠の施工

地下かんがいの効果を高めるため、水が移動するための亀裂を多く形成させることが重要である。

地下かんがいを行う場合は、より均等に水を充水させるための「補助暗渠」の同時施工が有効である。

(図-9)

補助暗渠の間隔は、土壌条件、補助暗渠の種類によって異なるため標準的な配置を基本とするが、今後は、追跡調査を行い配置間隔の妥当性について検証すべきと考える。



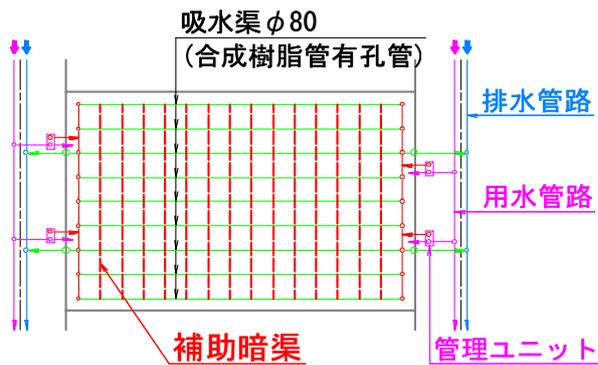


図-9 補助暗渠

(7) 地下かんがいシステムの

さらなる向上にむけて

地下かんがいシステムは、フラッシング機能を設計段階から取り入れ、長寿命化によるライフサイクルコストの低減を目的とした施設である。

しかし、日常的に管内土砂の堆積状況を定量的に判断することが極めて難しい。

今後は、現場での施工実績とデータの蓄積を踏まえた追跡調査を行い、適正な維持管理手法を構築していくとともに、さらなる精度向上、技術革新を行うことが重要であり、ストックマネジメントを取り入れた施設の機能保全計画を策定し、これを日常的に管理、運用していく仕組みを構築していく必要がある。

3-3. 排水路

排水路形式には、開水路形式及び管水路形式がある。(図-10)

これまでの国営事業における実施地区では、管水路形式を採用している地区も多い。

(1) 排水路の定義

設計基準では、小排水路、支線排水路、幹線排水路に分類されている。

この内、ほ場内に計画される小排水路は、排水路の施設用地幅設定すなわちほ場の面積要件に大きく影響するため、排水路形式の選定にあたっては、土地の有効利用、維持管理等を考慮した選定が重要である。

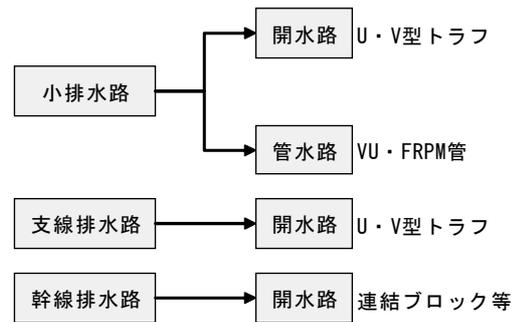


図-10 排水路の定義

(2) 小排水路形式の比較

小排水路形式には、開水路形式及び管水路形式がある。

開水路形式の場合、農地内の流水を速やかに排除するため掘込河道方式をとり、地下水排除が円滑に行われる深さ(H=1.50m程度)を確保するため、B=4.50m以上の排水路敷地が必要となる。

(図-11)

一方、管水路形式の場合は、新たな排水路敷地が不要で支線農道用地内に計画することが可能となり、土地の有効利用が図れる。(図-12)

ただし、泥炭地帯において、用排水施設が農道直下に配置される場合は、経年的な沈下を考慮し別途施設用地を設けることが望ましい。

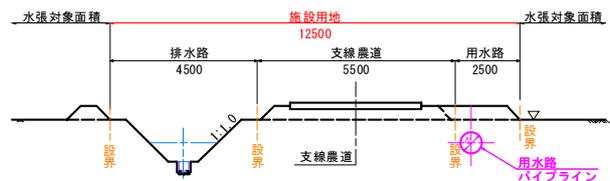


図-11 開水路形式



写真-6 開水路

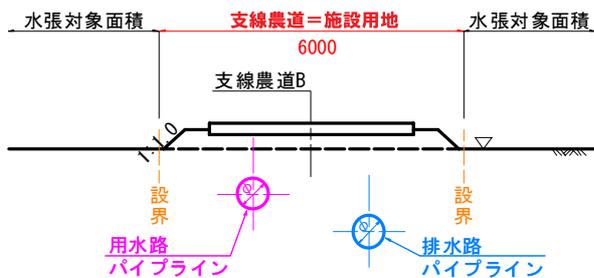


図-12 管水路形式



写真-7 管水路

(3) 管水路の特徴

管水路は、営農作業上の障害が除去でき、水路浚渫と除草等の維持管理作業の軽減、また土地の有効利用等が図れるメリットがある。

また、用・排水路を土中に埋設することから、附帯施設等が地上に現れることなく、景観にも優れているのが特徴である。

しかし、短所としては、土中に埋設されることにより、管内の堆砂等による閉塞、破壊及び点検等の維持管理上に課題がある。

よって、ストックマネジメント（管理の重要性）の考え方や農作業時間の短縮から、施設管理の再構築を図ることが重要である。

(4) 管水路形式の留意点

管水路の設計手法には、敷設勾配法と動水勾配法がある。

断面決定にあたっては、設計手法の違いや採用する基準によって口径が大きく変化するため、経済性の他、実施地区の事例等を参考に決定すべきである。

また、縦断計画にあたっては、土壌が泥炭土の場合は沈下が懸念されることから、経年的な沈下を考慮した計画・施工が望ましい。

4. 追跡調査について

特に軟弱地盤帯においては、不同沈下要因を排除できないことから、これを追跡調査し設計又は工事の精度を高める必要がある。

これまでは、類似地区での施工例を基本としているが、設定規定値の許容を超えた場合、区画整理そのものが機能を失う危険性がある。

国営のほ場整備工事が実施されてから約10年経過するが、今後は、作るだけでなくこれらの「追跡調査」を行い信頼性を高めるとともに、新規地区にも役立てることが重要である。

追跡調査は、給水栓、落水口、水田暗渠の渠間等の妥当性などについても行き、設計に反映できる「データベース」の作成が有効と考える。

新規地区においては、先事例を参考にしながら、地区としての考え方を整理しておくことが重要である。

5. おわりに

本報で紹介した内容は、各地区の実績を基に主な留意点等について述べたものである。

各地区の地域の特性によって異なる工種も多々あることから、今後実施される地区においては、完了地区および進行地区の事例を参考に、将来を見据えた国営事業に相応しい区画計画を行うことが重要であるとする。

(株)アルト技研

用水路改修における工法の選定

真田 栄一

1. はじめに

昭和54年から平成20年にかけて整備された国営かんがい排水事業 空知中央地区は、北海道石狩支庁及び空知支庁管内に位置する岩見沢市外4市2町1村にまたがる水稲作を主体とした27,027haの農業地帯を受益としている。

本報告の対象施設である大願幹線用水路は、地区内の用水路の1つであり、昭和42～54年に前歴の国営美唄土地改良事業により造成された支配面積1,258haに水田用水を供給する全長7.5kmの施設である。

大願幹線用水路の現況施設は、主にフルーム水路であるが、水路本体の沈下や施設の老朽化から、用水の供給に支障を来しており、改修を行うこととなった。

改修の方針は、起点の北海幹線用水路の水位が、受益地の標高より3～15m高いことを利用して、幹線用水路ならびに各支線用水路を管水路化するとともに、支配区域内の既設揚水機場を統廃合することにより、施設の維持管理の簡素化、ランニングコストの低減等を図ることとしている。また、少ない水頭を有効に利用するため、用水路全体をクローズドタイプのパイプラインに更新する計画であった。

本報では、この大願幹線用水路の改修工法の選定について紹介する。



図-1 位置図

2. 現況施設の概要

現況施設はフルーム水路（最大水路幅B=3.45m）が主体であり、国道12号線とJR函館本線の横断工箇所は、ヒューム管（口径はそれぞれ1500mm、1650mm）がサイホン形式で水路の一部を形成している。

最大設計流量は $Q=6.49\text{m}^3/\text{s}$ であり、水路沿いの各受益地に分水している。



写真-1 改修前のフルーム水路



写真-2 改修前の国道12号線横断部
(写真右上はヒューム管φ1500mmの内部)



写真-3 改修前のJR函館本線横断部
(写真右下はヒューム管φ1650mmの内部)

3. 既往調査結果の整理

現況施設の状態を把握するため、基本設計の段階で調査が行われており、その結果は以下に示すとおりであった。

実際の改修設計にあたっては、これらの調査結果を活用した。

(1) 一般水路部「フルーム水路」

フルーム水路は本体の不等沈下により、不陸が発生しており、現況流量を流下させる機能を失っていることから、改修が必要と判定されていた。

(2) 横断部「ヒューム管」

横断工箇所ヒューム管については、3箇所の目地・ひび割れの検査、中性化試験が行われていた。

① 目地・ひび割れの目視調査

- a. 目視において、管路の大きな蛇行や沈下は見られず、目地の損傷も見受けられない。
- b. ひび割れの発生も見受けられない。

② 中性化試験

ヒューム管の一般部2箇所、推進部1箇所のコアを採取し、供用開始から今日まで25年経過している部材の中性化深さを計測した。

計測にあたっては、採取したコアにフェノールフタレイン1%溶液を噴霧し、コンクリート

表面から赤紫色に着色する部分までの距離をもって中性化深さとした。

a. 中性化深さ

計測の結果、調査した3箇所の中性化深さは、2～3mmであった。

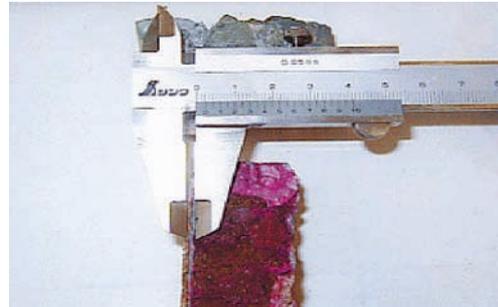


写真-4 中性化試験

b. 中性化の進行予測

コンクリート構造物の中性化の進行予測は、一般に \sqrt{t} 則に基づいて行うことができる。

$$C = A\sqrt{t}$$

(C: 中性化深さ=3mm, A: 中性化速度係数、
t: 経過時間=25年)

$$\therefore A = 3 \div \sqrt{25} = 0.6$$

以上より、 $C = 0.6\sqrt{t}$ と表わされる。

c. 今後40年使用する場合の中性化深さの予測

鉄筋のかぶり厚と中性化深さの差である中性化残り厚は、一般に10mm以下で鋼材の腐食の進展が見られるとされていることから、ここでは、中性化残り10mmを安全の目安として計算した。

現時点から40年経過(=25+40)時の中性化は、 $C = 0.6\sqrt{25+40} = 4.8(\text{mm})$ と予測される。

ヒューム管の鉄筋かぶりが30mmなので、中性化残りは、 $30\text{mm} - 4.8\text{mm} = 25.2\text{mm} \geq 10\text{mm}$ となり、今後40年使用するとした場合においても、鉄筋の腐食には至らず、使用に十分耐え得ると判断した。

以上の調査結果から、今後40年使用する場合においても、十分耐え得ると判断した。

4. 改修工法の検討

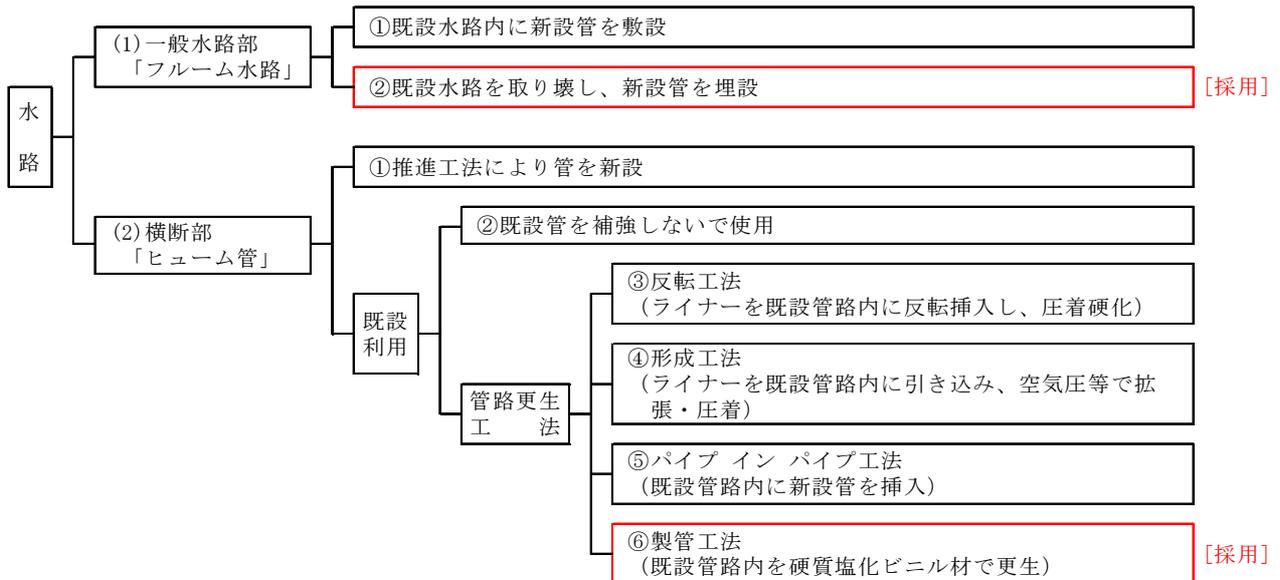
施設をパイプライン化するにあたり、既存施設の有効利用とコスト削減の観点から、改修工法を下表に示すように、一般水路部「フルーム水路」と国道及びJRの横断部「ヒューム管」に分けて検討し、工法を決定した。

○一般水路部「フルーム水路」：既設水路を取り壊し、新設管を埋設

○横断部「ヒューム管」：製管工法（既設管路内を硬質塩化ビニル材で更生）

検討の詳細を以下に記述する。

表－1 改修工法の一覧表



5. 改修工法に対する詳細検討

(1) 一般水路部「フルーム水路」

一般水路部の改修にあたっては、既存施設の有効利用とコスト削減の観点から、既設水路を取り壊すか否かが課題であった。既設水路内に新設管を敷設する場合には、新設管と覆土材が増加荷重となり、構造計算上、安全を保てない結果となった。また、既設水路本体の補強も検討したが、不経済であった。したがって、既設水路は利用できないと判断し、取り壊し後に新設管を埋設することとした。



写真－5 既設水路の取り壊し状況

表－2 一般水路部の改修工法「比較表」

項目	①既設水路内に新設管を敷設	②既設水路を取り壊し、新設管を埋設
略図		
概算工事費	408 (千円/m)	371 (千円/m)
判定	× 不採用	◎ 採用

※概算工事費には、諸経費60%を含む。



写真－6 新設管の埋設 (FRPM管)

(2) 横断部「ヒューム管」

横断部の改修工法については、管を新設する場合と、既設管を利用する場合に分けて考え、以下に示す6工法の検討を行った。

表－3 横断部の改修工法の一覧表

	管を新設	既設管利用				
		①推進工法	②既設管を補強しないで使用	管路更生工法		
				③反転工法	④形成工法	⑤パイプ イン パイプ工法
概要等	<ul style="list-style-type: none"> ・工事費が高い。 ・既存施設の有効利用という観点からは、不適当。 	<ul style="list-style-type: none"> ・現況より設計内圧が大きく作用する為、構造上の安全を確保できない。 ・内水圧に対する補強が必要。 	<ul style="list-style-type: none"> ・既設管の継手部に張り出しているカラーが段差となり、この箇所では“しわ”が生じるなど施工面の問題がある為適用できない。 	<ul style="list-style-type: none"> ・一般に口径800mmまでの工法である為、適用できない。 	<ul style="list-style-type: none"> ・既設管が上下に蛇行し、継手部ではカラーが管路の内側に張り出している為、挿入できる管径が小さくなり、下流で必要水位を確保することが困難。 	<ul style="list-style-type: none"> ・既設管の蛇行に対しても追従できることから、施工は可能。 ・製管材にスチール補強材を挿入することで、内水圧に対する補強が可能。
概算工事費	国道横断部 (L=22m) 51,461 (千円)	—	—	—	—	8,955 (千円)
	J R 横断部 (L=38m) 67,751 (千円)	—	—	—	—	23,078 (千円)
判定	× (工事費が高い)	× (構造上 OUT)	× (施工面問題あり)	× (適用対象口径外)	× (水理的に困難)	◎ (採用)

*概算工事費には、諸経費60%を含む。

①推進工法の検討

国道12号線およびJ R 函館本線の横断に関しては、迂回路を設置して開削工で横断することは協議上困難と判断した。したがって、管を新設する場合には、推進工法により国道およびJ R を横断する必要がある。

推進工法により管を新設する場合には、既設管利用(管更生工法)に比して概算工事費が非常に高く、既存施設の有効利用という観点からも不適当と判断した。

②既設管を補強しないで使用する場合の検討

既設管を利用する工法については、先ずヒューム管を補強しないで使用することを考えた。

水路全体を管路に改修することで、現況より設計内圧が大きく作用する為、構造計算により安全性を検討する必要がある。

既設管の構造計算の結果、許容内圧は国道箇所では0.097MPa、J R 箇所では0.048MPaとなり、設計内圧(それぞれ0.149MPa、0.175MPa)が許容値を超える

為、内水圧に対する補強をしなければ使用できないことが判明した。

表－4 既設管を補強しないで使用する場合の判定

	設計内圧 (MPa)		許容内圧 (MPa)	判定
国道横断部	0.149	>	0.097	OUT
J R 横断部	0.175	>	0.048	OUT

*判定がOUTのため、内水圧に対しての補強が必要。

[管路更生工法についての検討]

内水圧に対する補強が可能となる工法として、管路更生工法について検討を行った。

管路更生工法は、非開削のまま既設管路の内部から更新する工法であり、開削工による管路の更新に比べて、仮設工事や地形条件の制約を受けることが少なく、既設管路を利用するため、建設廃棄物が少なく済む利点が挙げられる。

管路更生工法には「反転工法」、「形成工法」、「パイプ イン パイプ工法(鞘管工法)」、「製管工法」といった工法が挙げられ、以下に詳細を記述する。

③反転工法の検討

反転工法は、既設管路内に熱または光で硬化する樹脂を含浸させたライナーを水圧や空気圧により反転挿入し、加圧状態のままライナーを管内に圧着硬化させることで、既設管路内に管を構築するものである。

この工法を適用する場合の問題点としては、段差部や屈曲部などで“しわ”が発生し、通水性、水密性、耐荷性などの性能に影響することが挙げられた。

本既設管路内の内側に張り出しているカラーは、段差に相当し、上述の問題点も踏まえ、適用は難しいと判断した。また、大口径管路での内水圧に対する補強という面でも対応が難しいことから、採用を見送った。

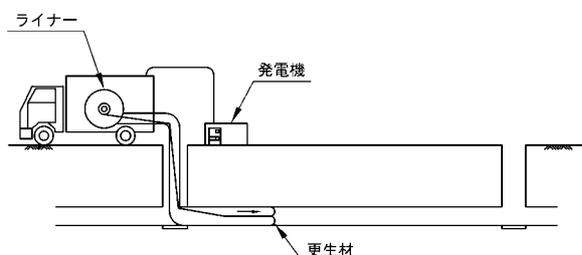


図-2 反転工法の施工概要

④形成工法の検討

形成工法は、熱または光で硬化する樹脂を含浸させたライナーを既設の人孔部等から既設管内に引込み、空気圧等で拡張・着圧させた後に硬化することで、既設管路内に管を構築するものである。

この工法は一般に口径800mmまでの適用であるため、採用できなかった。なお、上記③反転工法と同様に、段差部や屈曲部などで“しわ”が発生する問題があり、適用可能な口径の場合においても十分な検討が必要と考えられる。

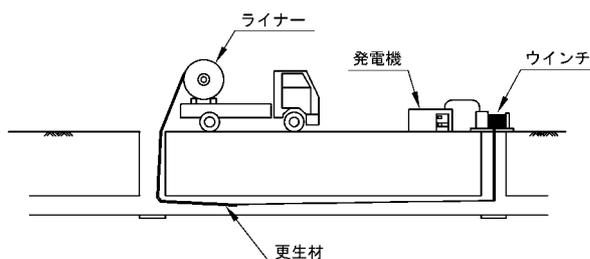


図-3 形成工法の施工概要

⑤パイプ イン パイプ工法の検討

前項までの工法においては、施工面から適用できない工法や、内水圧に対する補強ができないことから、採用には至らなかった。ここで、内水圧に対する補強が可能となる工法の1案目として、既設管路内に新設管を挿入する工法（パイプ インパイプ工法）を検討した。

挿入管については、作用する設計内圧に適する管種として、強化プラスチック複合管を選定した。

外圧に対しては既設管が、内水圧に対しては挿入管である強化プラスチック複合管が負担するものであるが、施工性に関しては判断が難しかった。そのため、既設管路内の縦断測量と継手部の状況確認を主とした調査を行った。

調査の結果、既設管路のヒューム管は上下に蛇行しているうえに、継手部では幅25cmの鋼製カラーが管路の内側に2.5cmずつ張り出していることを確認した。

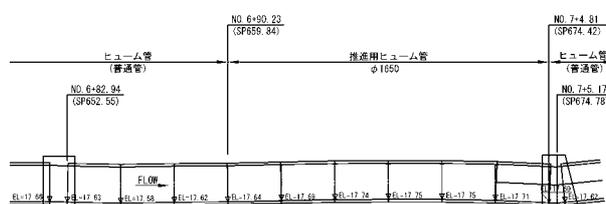


図-4 既設管の調査結果 (JR横断箇所 縦断図)

調査結果をもとに再度検討を行ったところ、鋼製カラーが支障となるため、挿入できる管径が小さくなり、下流で必要水位を確保することが困難になったことから、この工法を断念した。

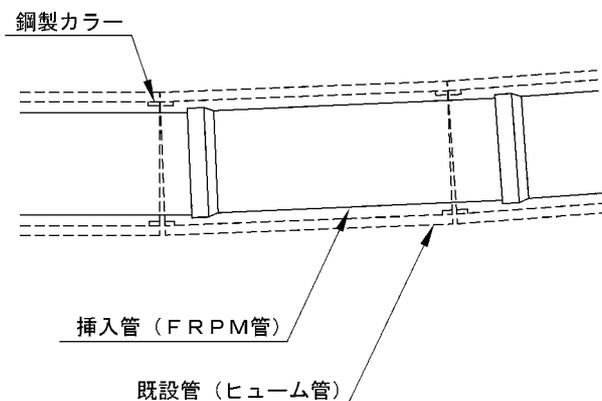


図-5 挿入管の検討

⑥製管工法の検討

内水圧に対する補強が可能となる工法の2案目として、製管工法を検討した。

同工法は、硬質塩化ビニル製の製管材(幅8cm)を既設管路の内側に密着させながら、スパイラル状に製管する工法であり、製管材と既設管の間に裏込め材を注入することで、製管材・既設管・裏込め材が一体となって管を更生する。また、水密性についても、内面の嵌合部材で水密性が確保されるため、問題ないと判断した。

この工法であれば、管路の蛇行や10cm程度の段差に対しても追従できることから施工は可能と判断した。

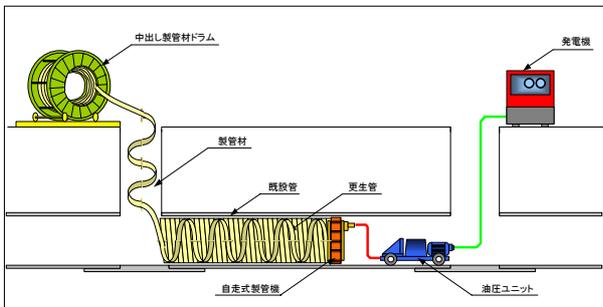


図-6 製管作業時のイメージ

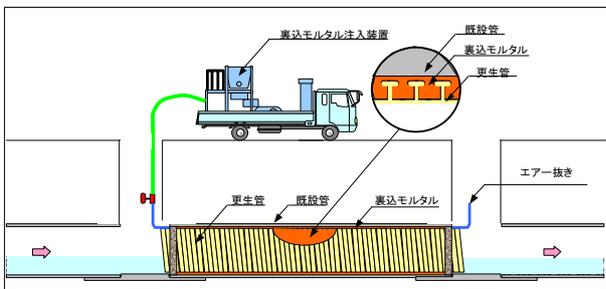


図-7 裏込め材注入時のイメージ

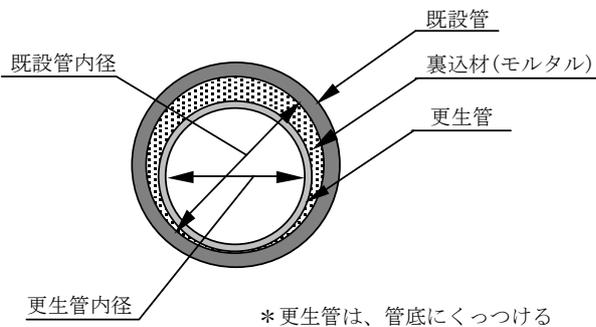


図-8 管更生断面

[製管工法 施工順序の概要] (JR横断部の例)



写真-7 既設管路内洗浄



写真-8 製管材の挿入



写真-9 製管作業



写真-10 支保工を設置し、
裏込め材を注入



写真-11 更生管の完成

製管工法の構造検証に関しては、外圧と内圧に分けて検証を行った。外圧には既設管が抵抗するものとし、構造計算により安全性を確認した。内水圧に対しては、製管材とその背面に挿入するスチール補強材(幅15.2mm、厚1.0mm)で抵抗するものとして計算を行った。



写真-12 製管材

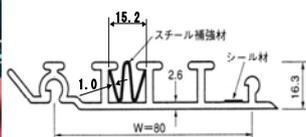


図-9 製管材断面図

許容設計内圧は(国道箇所0.398MPa、J R箇所0.311MPa)となり、設計内圧(それぞれ0.149MPa、0.175MPa)が作用しても安全と判定した。

表-5 既設管補強時(製管工法)の判定

	設計内圧 (MPa)		許容内圧 (MPa)	判定
国道横断部	0.149	≤	0.398	SAFE
J R横断部	0.175	≤	0.311	SAFE

水理検証に関しては、既設管を利用することにより、管径が一般水路部(φ2,200mm)より小さく(国道箇所φ1,390mm、J R箇所1,540mm)なるため、定常水理解析を行った。その結果、通水量・流速・有効水頭に対して問題ないことが判明した。

以上の検討により、既設管のみでは不足していた内水圧に対する補強が可能となり、横断工箇所の改修工法の採用に至った。

6. 対象施設 施工の前後

[施工前]



写真-13 一般水路部①



写真-15 一般水路部②



写真-17 J R横断部

[施工後]



写真-14 一般水路部①



写真-16 一般水路部②



写真-18 J R横断部

7. おわりに

一般水路部「フルーム水路」は、施工が完了した現在、フルーム水路が撤去されたことにより、フルーム水路により分断されていた地形が一体化され、周囲の見通しが良くなったことや、跡地にハーブが植栽されたことにより、景観の向上にもつながったと考えている。既存施設の有効利用や建設廃棄物を少なくする観点から、今後同様な課題に対しては新技術の開発により、もっと多様な視点で検討されていくことを期待したい。

横断部「ヒューム管」は、国道とJRの横断工箇所現況施設を、設計当時（平成16年）としては新技術であった工法を活用し、補強して使用したことは、既存施設の有効利用やコスト縮減に有効な対策であったと考えている。

最後に本報文をまとめるにあたり御助言頂いた北海道開発局 札幌開発建設部 岩見沢農業事務所、並びに関係各位に厚くお礼申し上げます。

(サンスイコンサルタント㈱)

参考文献

- 1) (社)日本コンクリート工学協会：コンクリート診断技術'10（2010年3月）
- 2) 保全対策センター：農業水利施設ストックマネジメントマニュアル（平成19年3月）
- 3) 鈴木隆善、佐藤敏明、鈴木崇之、高崎正宣：パイプラインの特性を踏まえた管路更生工法の適用への取組み
農業農村工学会誌 水土の知（2010年4月）
- 4) 日本SPR工法協会：SPR工法技術資料

長大サイホンにおける機能診断調査

佐藤 実

本報では、長大サイホンの機能診断調査を行うにあたり、直接目視が困難なことから、これに代わる調査手法として、テレビカメラを搭載した自走ロボットおよび水中ロボットを活用した調査事例について、その特徴と課題について紹介するものである。

1 概要

1.1 調査対象施設

今回の調査を実施する対象施設は、天塩川上流地区総合かんがい排水事業により造成された剣和幹線

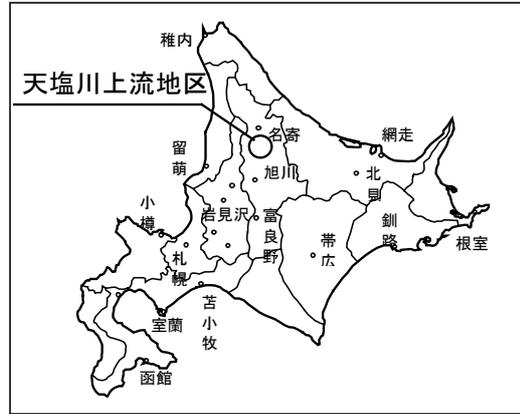


図-1.1 位置図

用水路である。

天塩川上流地区(図-1.1)は、昭和42年度から昭和61年度に実施され、15,800haの受益面積をもつ、士別市、名寄市、剣淵町、和寒町の2市2町にまたがる天塩川を水源とした水田地帯である。

また、剣和幹線用水路(図-1.2)は昭和43年度から昭和56年度にかけて建設された開水路、トンネル、暗渠、サイホンを主体とする延長L≒41.7km、計画最大通水量Q=14.1m³/secの用水路で、開水路以外の工種が全延長の半分(L≒21.5km)を占めること、また、20有余のサイホンが水路全般に配置されており、これらの大部分は管径2.4m以上で、延長100mを超える長大サイホンであることが本用水路の特徴として挙げられる。

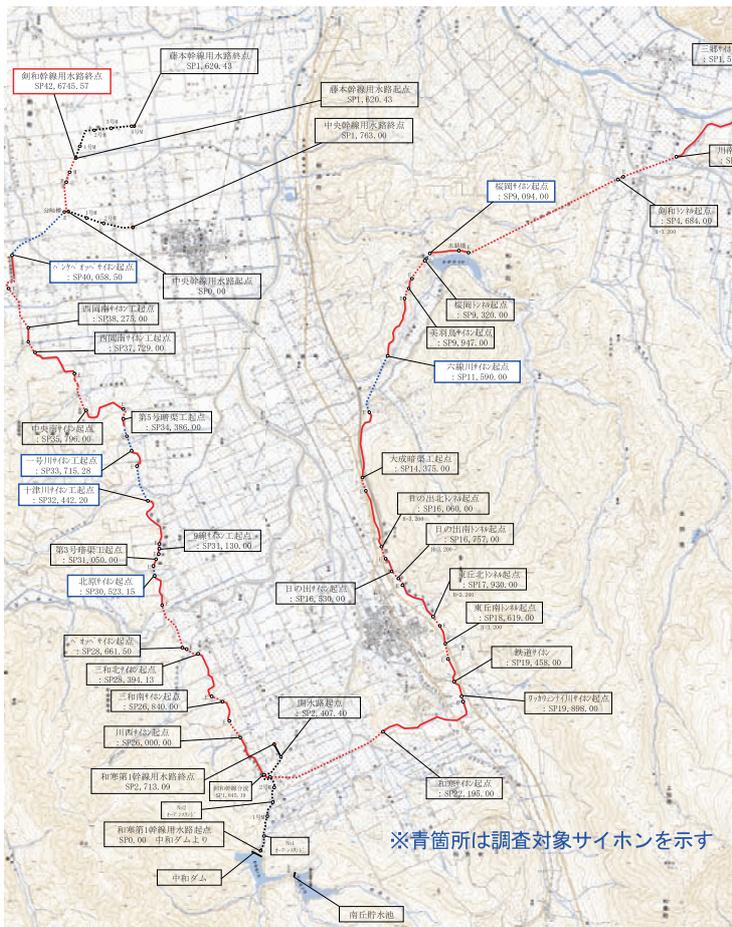


図-1.2 剣和幹線用水路全体路線図

1.2 機能診断調査における課題

本用水路の機能診断調査を実施する場合、トンネル・暗渠にあつては、一般的に酸欠や有毒ガス対策に留意する必要があるが、これらの対策を講じることにより、任意地点での直接目視が可能となる。

しかしながら、サイホンにあつては、構造上水抜きが完全にはできないため、ポンプなどによる強制排水が必要であるほか、その縦断形状や堆泥（砂）の問題から傾斜部での安全対策が必要であり、調査

範囲は仮設および安全対策の有無や適否により大きく影響を受けることになる。

従来の機能診断調査は、基本的に仮設を伴わない直接目視が可能な範囲が対象とされているが、直接目視ができない範囲を如何に安全かつ効果的、効率的に調査を行い、ストックマネジメント技術の高度化を図るかが、今後のより精度の高い機能保全計画の策定上の課題となっている。

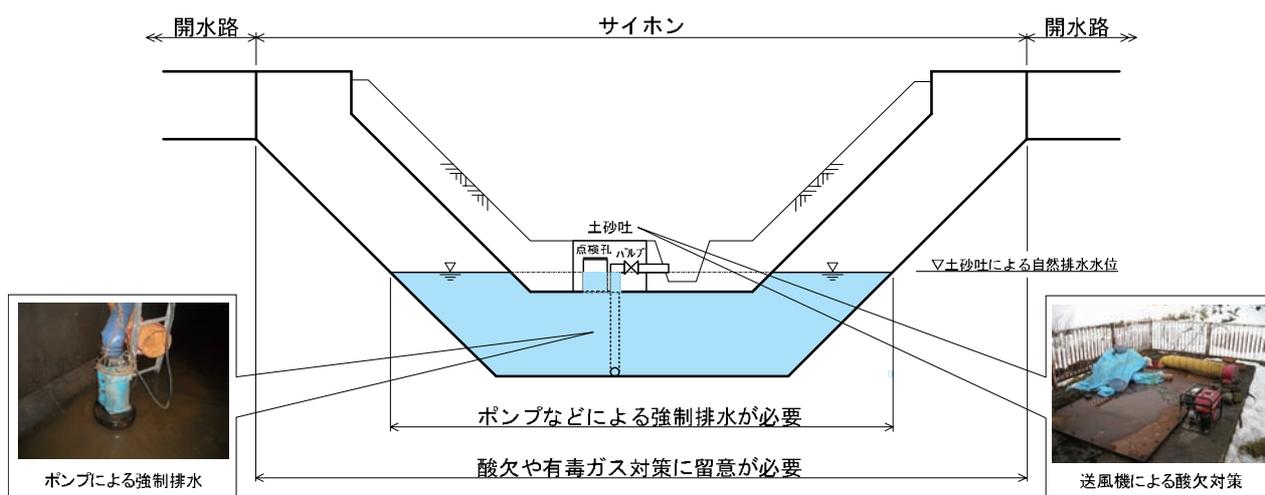


図-1.3 サイホン管内の調査における課題

以上より、上記の課題ならびにストックマネジメント技術の高度化に資することを目的とし、本用水路のサイホン管内の目視状況調査に代わる調査（以

下「管水路無人調査」という）を表-1.1に示す6箇所のサイホンにおいて実施した。

表-1.1 調査対象サイホン一覧

サイホン名称	延長	断面 × 延長
桜岡サイホン	178.51m	□2.6m × 178.51m
六線川サイホン	1,318.00m	□2.7m × 65.71m ~ φ2.7m × 1,221.15m ~ □2.7m × 31.14m
北原サイホン	251.17m	□2.5m × 251.17m
十津川サイホン	826.56m	□2.5m × 88.40m ~ φ2.6m × 612.75m ~ □2.5m × 125.41m
1号川サイホン	570.72m	φ2.6m × 376.72m ~ (B2.8 × H2.6m × 194.00m) ※括弧内は第4号暗渠工区間
パンケペオッペサイホン	1,347.91m	φ2.4m × 1,347.91m
計	4,492.87m	

2 管水路無人調査の検討

2.1 調査手法の選定

管水路無人調査は、旧来より直接目視が不可能な管径800mm未満の小口径管路において、テレビカメ

ラを搭載した自走ロボットによって行われているが、本用水路のサイホン管内の無人調査手法を選定するにあたっては、表-2.1に示す調査対象サイホンの特質を踏まえる必要がある。

表-2.1 調査対象サイホンの特質とその対応策

調査対象サイホンの特質（問題点）	調査を実施する上での対応策
サイホンの断面は円形φ2.4~2.7m（RC管）、箱形□2.5~2.7m（現場打ち鉄筋コンクリート）、延長はL≒0.2~1.3kmと長大であり、旧来からの小口径管路用の自走ロボットでは対応が困難である。	近年では管径800mm以上の大口径管路用、かつ防水構造の自走ロボットが開発されており、これによる調査とする。 同ロボットによる調査では基本的に管体のひび割れ、たるみ状況及び継手間隔、また、鋼製異形管にあつては塗装・腐食、錆状況といった直接目視と同様の調査項目を網羅することができる。
サイホン内の水抜きは、土砂吐による自然排水のみでは残水が生じるため、管路内の断水を原則とする旧来からの自走ロボットでは、残水部の調査は困難である。	防水構造の自走ロボットと併せて、水中航行型ロボットで調査することにより、直接目視と同様の調査項目を網羅することができる。
サイホンの構造上、吞吐口部から最深部にかけては傾斜面が存在し、管路内は堆泥（砂）していることも予測され、自走ロボットの登坂・制動能力に懸念があることから補助的な対策が必要である。	サイホン吞吐口部にポータブルウィンチを設置して自走ロボットとワイヤロープで連結するなどの対策を講じることで調査は可能である。

以上より、本サイホン管内の無人調査は、大口径管路用、かつ防水構造の自走ロボット（写真-2.1）による調査とするが、同ロボットによる水中調査の実績は乏しく、また、サイホンの構造上、最深部は堆泥（砂）していることが予測され、場合により自走不能となるなどの不確定要素もあることから、残水部においては別途、テレビカメラを搭載した水中航行型ロボット（以下「水中ロボット（写真-2.2）」という）による調査をあわせて実施する。

水中ロボットは、旧来より電力事業による取水路や放水路の内部点検、ダム貯水池内の設備点検に供されてきたが、近年では下水道事業による管路内の点検にも使用されており、管径1.0m以上の管路内を自在に航行することが可能であり、その搬出入も600mm以上のマンホールと本サイホンの土砂吐点検孔から可能なため、本サイホン管内の残水部の調査にも対応は可能である。また、残水部の調査を自走

ロボットとあわせて実施することで、これらの調査結果を対比することにより、ストックマネジメント技術の高度化に資する有効な基礎資料となる利点もある。

以上に基づく、本サイホン管内の無人調査手法の概念図を図-2.1に示す。



写真-2.1 自走ロボット



写真-2.2 水中ロボット

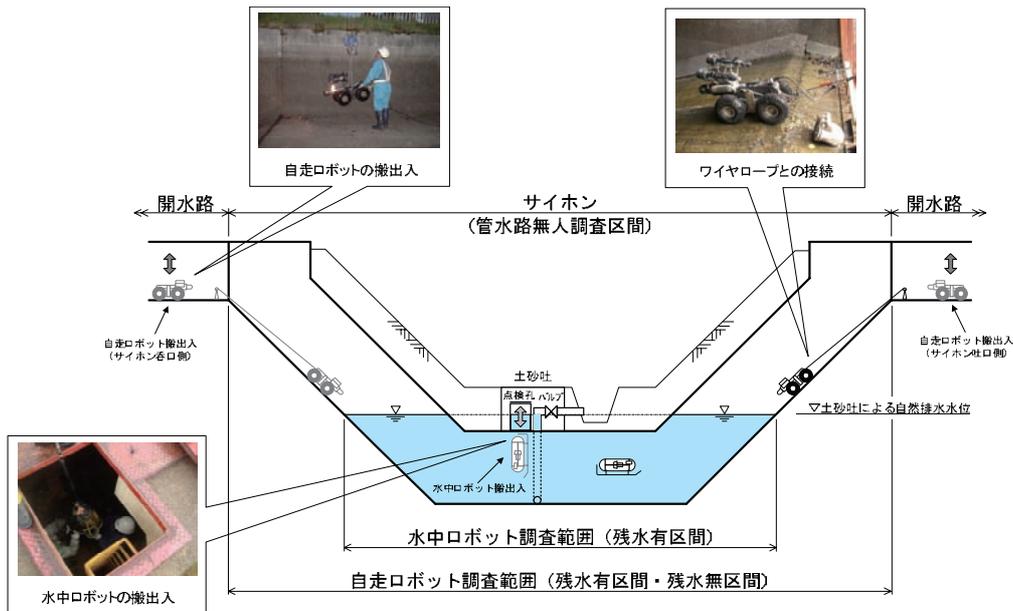


図-2.1 管水路無人調査手法の概念図

2.2 調査手法の適用

本用水路のサイホン管内の無人調査は、自走ロボットと水中ロボットを併用して実施するものとしたが、ロボットによる調査を安全かつ効果的、効率的に遂行するため、その機種選定や機材の搬出入方法など、

調査手法の適用に関する事前確認をサイホンの土砂吐による自然排水後に速やかに行う必要がある。なお、この事前確認時には、表-2.2に示す項目についても併せて実施するものとする。

表-2.2 調査手法の適用に関する事前確認項目とその内容

事前確認項目	事前確認の内容
水位低下量	サイホン内の水位低下量を土砂吐点検孔から確認し、漏水量およびその範囲を把握することで調査時の基礎資料とする。
濁り状況	サイホン内残水の濁り状況を土砂吐点検孔から確認し、テレビカメラによるロボット調査の適否の判断を行う。
堆泥(砂)状況	サイホン最深部の堆泥(砂)状況を土砂吐点検孔から確認し、サイホン残水部における自走ロボットの走行時ならびに水中ロボットの航行時の必要空間が確保されているかを把握し、ロボットによる調査の適否を判断する。

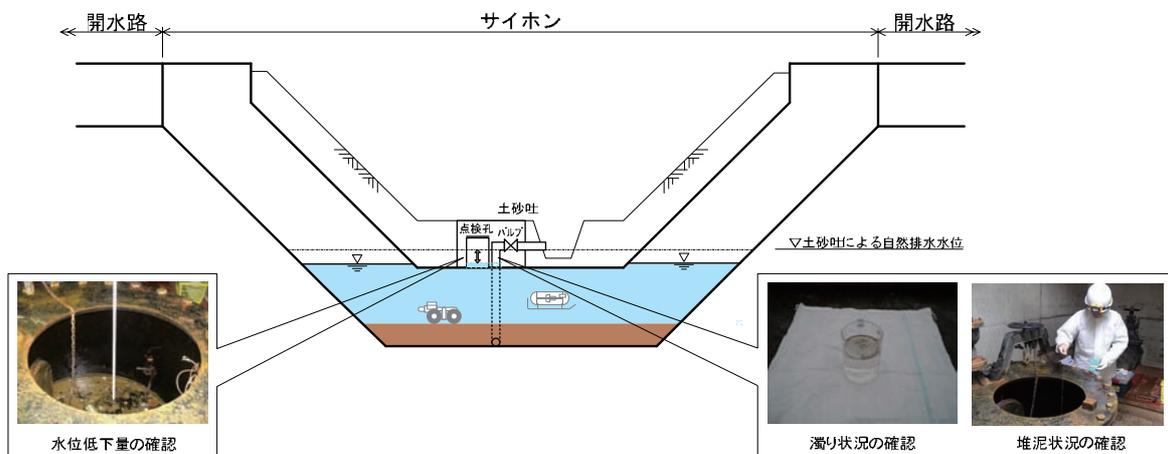


図-2.2 管水路無人調査手法の適用に関する事前確認

2.3 調査手法の評価

本用水路のサイホン管内の無人調査は、自走ロボットと水中ロボットを併用して実施するものとしたが、これら調査手法の有効性等に関する評価がストック

マネジメント技術の高度化に資する上では極めて重要となるため、表-2.3に示す項目についても併せて実施するものとする。

表-2.3 調査手法の評価項目とその実施方針

評価項目	評価を行うにあたっての実施方針
調査精度の確認	両ロボットによる調査精度の確認のため、調査対象となるサイホンの中から実地検証用のサイホンを抽出し、サイホン内残水の強制排水を行った上で管路内の直接目視による調査を実施し、その対比を行う。
調査精度に及ぼす因子	両ロボットによる調査では、テレビカメラにより撮影した画像を解析し、ひび割れ、たるみ、塗装・腐食、錆状況及び継手間隔を把握するが、特に、残水部にあっては濁度が調査精度に大きく影響を及ぼすため、サイホン内残水の透視度及び濁度を計測し、画像の明瞭度など解析結果の指標とする。
調査ロボットの性能	自走ロボットによる調査では、管路内での走破性能が重要となるが、サイホンはその構造上、特に最深部では堆泥（砂）が予測され、走破性能に大きく影響を及ぼすことから、最深部での堆泥高の測定及びその土質分析を実施し、自走ロボットの走破性能の指標とする。

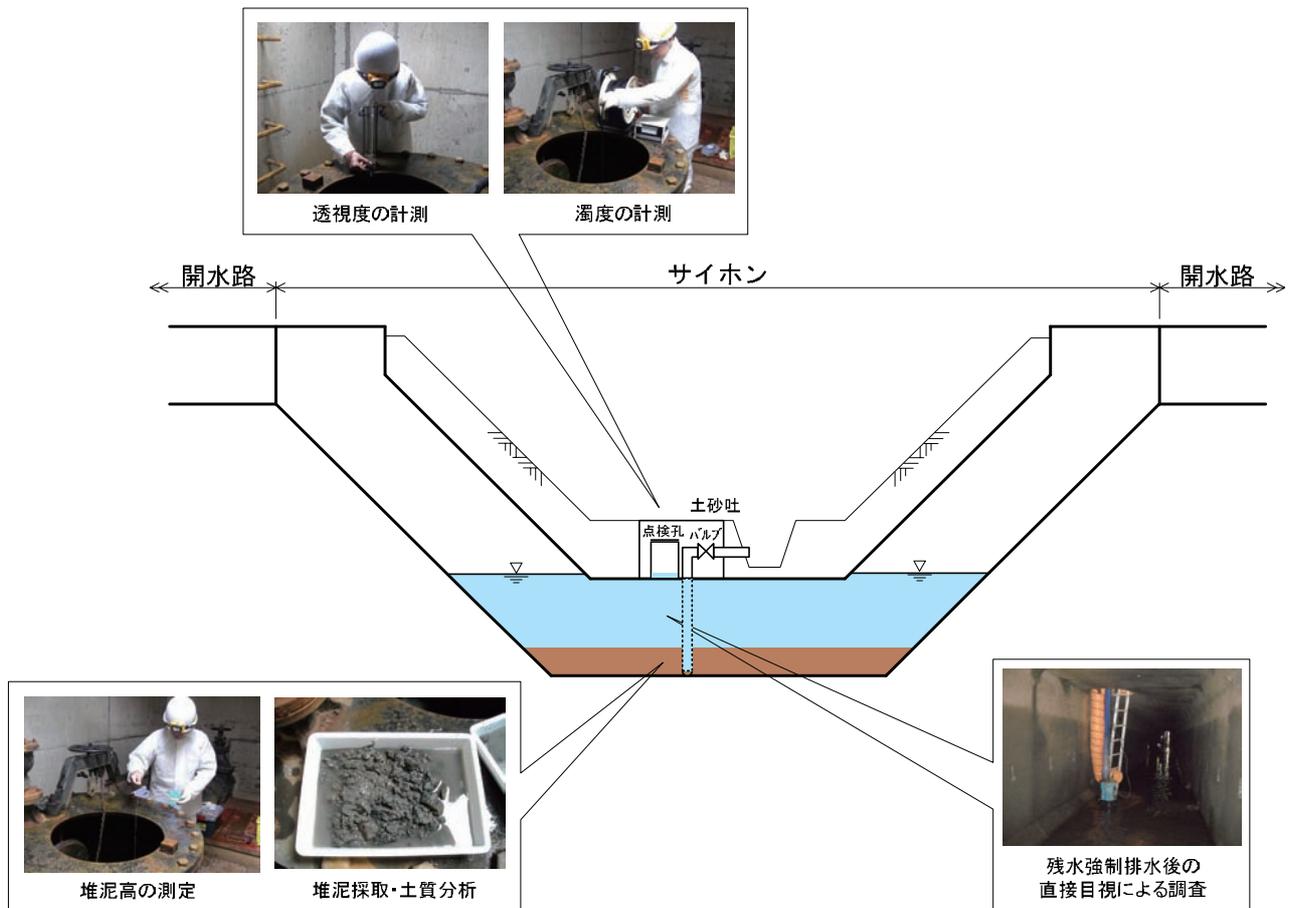


図-2.3 管水路無人調査手法の評価に関する調査

3 管水路無人調査の結果および課題

調査手法の適用に関する事前確認は、平成20年9月25日から10月9日にかけて実施した。結果は表-3.1のとおりである。

3.1 管水路無人調査の結果

(1) 事前確認結果

表-3.1 調査手法の事前確認項目とその結果

事前確認項目	事前確認の結果
水位低下量	6箇所のサイホンのうち、土砂吐点検孔が開放不可であった5箇所では、サイホン内に進入し現況水位を測定した。結果、全箇所ですべて水位低下は殆どみられず、残水有区間での漏水の可能性は低い。
濁り状況	1箇所は残水が殆どなく、最大水深も17cm程度と自走ロボットのカメラが水没することはないため実施しなかった。残りの5箇所のうち、土砂吐点検孔が開放不可であった4箇所では、サイホン内に進入し残水の濁りを確認した。結果、残水有区間でのロボット調査は可能であると判断した。
堆泥(砂)状況	土砂吐点検孔が開放不可であった5箇所のうち、1箇所は残水が殆どないためサイホン内に進入し、堆泥がないことを確認した。残り4箇所は進入できないことから堆泥状況を確認できなかった。土砂吐点検孔より確認できた1箇所では、特に顕著な堆泥はみられなかった。結果、確認できたサイホン内の堆泥状況から残水区間での自走ロボットならびに水中ロボット調査時の必要空間は確保されているものと判断した。

(2) 自走ロボット調査結果

10月10日から10月18日にかけて実施した。結果は本用水路における自走ロボット調査は、平成20年 表-3.2のとおりである。

表-3.2 自走ロボットの調査結果

項目	調査結果
走行性 (調査可否)	6箇所のサイホンのうち、1箇所で障害物、1箇所で堆泥が原因で全線調査ができなかった。堆泥が原因となった箇所での堆泥高はサイホン最深部で12cm程度、泥質は砂質シルトであった。
残水無区間	直接目視と同様の調査項目(ひび割れ、たるみ、塗装・腐食、錆状況及び継手間隔)を網羅できた。(写真-3.1参照)
残水有区間	タイヤ走行による堆泥の巻き上げ等から、カメラの視認距離は50cm程度であり、管底部の調査に限定された。(写真-3.2参照) 調査前後での残水の透視度はいずれも30cm以上であったが、濁度は4程度以下が10程度に上昇した。



写真-3.1 残水無区間の調査状況
(サイホン内を直視した状況)



写真-3.2 残水有区間の管底部の調査状況
(写真右上は自走ロボットのタイヤ)

(3) 水中ロボット調査結果

本用水路における水中ロボット調査は、平成20年

11月1日から11月5日にかけて実施した。結果は表-3.3のとおりである。

表-3.3 水中ロボットの調査結果

項目	調査結果
航行性 (調査可否)	6箇所サイホンのうち、1箇所は残水が殆どないため実施しなかった。残りの5箇所では、残水有区間における航行性に問題はなく、同区間の全線調査が可能であった。
残水無区間	—
残水有区間	管内全体を視認できなかったため、調査は管頂および管底部に限定され、たるみ・蛇行・沈下、たわみの調査項目は網羅できなかった。その他、調査部位でのひび割れ、塗装・腐食、錆状況及び継手間隔の調査項目は網羅できた。 調査前後での残水の透視度はいずれも30cm以上であり、濁度の上昇も殆どみられなかった。(写真-3.3~3.4参照)



写真-3.3 管頂部の調査状況



写真-3.4 管底部の調査状況

(4) ロボット調査精度の確認結果

本用水路におけるロボット調査の精度確認のため、平成20年12月18日から12月19日にかけて、北原サイ

ホンの残水をポンプにより強制排水し、サイホン内の直接目視による調査を実施した。結果は表-3.4のとおりである。

表-3.4 北原サイホンにおける調査精度の確認結果

区 間	変 状	管水路無人調査結果		直接目視 調査結果	管水路無人調査 の変状確認率
		自走ロボット	水中ロボット		
残水無区間	ひび割れ	特になし	—	10箇所	0% (0/10)
	浮 き	特になし	—	1 箇所	0% (0/ 1)
	骨材露出	全 般	—	全 般	100% (1/ 1)
	鉄筋露出	特になし	—	15箇所	0% (0/15)
	欠 損 (一部鉄筋露出を伴う)	6 箇所	—	8 箇所	75% (6/ 8)
	目地の漏水	2 箇所	—	4 箇所	50% (2/ 4)
	躯体の漏水 (一部ひび割れを伴う)	特になし	—	7 箇所	0% (0/10)
	目地の補修痕	特になし	—	4 箇所	0% (0/10)
残水有区間	ひび割れ	特になし	特になし	1 箇所	0% (0/ 1)
	骨材露出	特になし	特になし	全 般	0% (0/ 1)
	欠 損	特になし	特になし	1 箇所	0% (0/ 1)
	目地の漏水	1 箇所	特になし	20箇所	5% (1/20)
	躯体の漏水 (一部ひび割れを伴う)	特になし	特になし	7 箇所	0% (0/ 7)
	目地の補修痕 (躯体の補修痕を含む)	特になし	2 箇所	22箇所	9% (2/22)

- ・残水無区間では、管水路無人調査（自走ロボット）による変状の確認率は0～100%とバラツキがあるが、確認率0%の要因としては、ひび割れ、浮き、鉄筋露出については、ひび割れ幅であれば0.1mm未満と非常に微細あるいは軽微なものであること、また、躯体の漏水、目地の補修痕については、泥質の付着もあり、カメラ画像ではその判別が極めて困難な変状であったことが要因と考えられ、これ以外の確認率は50%以上であり、自走ロボット調査の一応の有効性は確認できた。
- ・残水有区間では、管水路無人調査による変状の確認率は0～9%と低い結果であった。これは同区

間の変状が目地の漏水および補修痕が主体であるが、残水（水中）内での漏水の有無、また、補修痕にあつては泥質の付着もあり、カメラ画像ではその判別が極めて困難な変状であったことが要因であり、一概にロボット調査の有効性を否定するものではないと考える。

- ・北原サイホンは、調査対象サイホンの中での残水内のカメラの視認性が最も悪く、これは当サイホンが用水路の下流側に位置することに加え、目地からの漏水が多いことも残水の濁度上昇の一因として考えられる。

3.2 管水路無人調査の課題

よび水中ロボット調査の特質を表-3.5にとりまと

今回の管水路無人調査結果から、自走ロボットおめる。

表-3.5 自走及び水中ロボット調査の特質

項目	特質
自走 ロボット	<p>今回の調査では、残水無区間においては直接目視と同様の調査項目を網羅できたが、残水有区間では、管底部を自走することによる堆泥の巻き上げにより残水の濁度を上昇させたため、カメラによる管内の視認は極めて困難であった。また、管内の堆泥は自走に支障を来したほか、ケーブルに付着したことも自走能力を低下させた要因として考えられ、当ロボットの最大調査延長が600mであるのに対し、今回の調査では400mが上限であった。</p> <p>なお、当ロボットではレーザーを調査対象物に照射することにより、カメラ画像上に目盛表示させる機能（写真-3.5参照）を有しているが、この装置は防水構造ではないため、今回の調査では搭載しておらず、調査結果の変状規模等は概寸となっている。今後の課題として、特に堆泥上の走破性向上のため、タイヤのトレッドパターンやタイヤ式をクローラ式に変更するなどの対策は考えられるが、今回の調査のように堆泥の進行した管内での水中調査箇所では、走行時の濁度上昇を回避することはできないため、自走ロボットによる調査は適用困難と考えられる。</p>
水中 ロボット	<p>今回の調査では、管内全体を視認することが困難であったため、たるみ状況などは未確認であり、直接目視と同様の調査項目を網羅することはできなかつた。しかしながら、管底や管内に土砂吐工のトラップが存在するなど、調査区間（残水有区間）において当ロボットの航行に支障となる障害物があつたが、水中内を自在に航行できる特質から、残水有区間全線の調査は可能であつた。</p> <p>今後の課題として、特に管内全体の視認性向上のため、照明灯の増設や光量を上げるなどの対策は考えられるが、調査測線（今回の調査は管頂と管底の2測線）を増やすことにより、管体全体を網羅することは可能と考えられる。</p>



写真-3.5 自走ロボットの目盛表示例

今回の調査では、自走および水中ロボットによる調査コスト（m当り調査費）は表-3.6に示すとおり、自走ロボットによる調査では直接目視による調査（定点調査相当）の場合の40%程度、また、水中ロボットによる調査では同60%程度であり、残水無区間では自走ロボット、残水有区間では水中ロボットによる調査の一応の有効性は確認できた。なお、管路路無人調査のコストにおいて、自走ロボットに対して水中ロボットが割高となっている要因は、水

中ロボットが北海道内では希少であり、基地（調査起点）が東京となっているためである。

しかしながら、自走および水中ロボットによる調査精度の面では、今回使用した機種による調査では変状の有無は確認できるものの、特に直接目視による調査のようなひび割れ幅やひび割れ長さなどの定量的評価や残水内での漏水状況の把握は難しく、現行のストックマネジメントマニュアルに基づく施設の健全度評価への活用としては課題がある。

表-3.6 管路路無人調査のコスト比較

項目	管路路無人調査		直接目視調査	備考
	自走ロボット	水中ロボット		
調査費				
①直接費	4,012千円	6,427千円	482千円	
調査工	3,527千円	3,774千円	151千円	
事前調査工	150千円	1,245千円	—	現場確認、調査計画に係る費用
調査工	2,940千円	2,529千円	151千円	
仮設工	437千円	—	—	調査機材の現地搬出入等に係る費用
報告書作成工				
報告書作成工	485千円	927千円	331千円	
その他費用		1,726千円		
調査機材移動費	—	607千円	—	基地～現場間の移動等に係る費用
調査員移動費	—	1,119千円	—	基地～現場間の移動等に係る費用
②諸経費（間接費・一般管理費等）				
諸経費				
直接費×A%	3,410千円(A=85%)	1,285千円(A=20%)	423千円(A=88%)	
③その他費用			565千円	
ポンプ排水工	—	—	536千円	サイホン内残水の排水等に係る費用
安全対策工	—	—	29千円	調査員の安全対策に係る費用
調査業務価格				
Σ①～③	7,422千円	7,712千円	1,470千円	
調査延長（外業日数）				
桜岡サイホン	170.51m(1日)	—	—	
六線川サイホン	581.39m(2日)	761.09m(1日)	—	
北原サイホン	245.17m(2日)	178.09m(1日)	251.17m(2日)	
十津川サイホン	820.56m(2日)	451.61m(1日)	—	
1号川サイホン	564.72m(2日)	186.34m(1日)	—	
パンケパオッペサイホン	664.88m(2日)	606.48m(1日)	—	
計	3,047.23m(11日)	2,183.61m(5日)	251.17m(2日)	
作業能力・単価				
日当り調査延長（比率）	平均277m/日 (2.20) ※最大410m/日	平均437m/日 (3.47) ※最大606m/日	平均126m/日 (1.00)	
m当り調査費（比率）	2.4千円/m (0.41)	3.5千円/m (0.60)	5.8千円/m (1.00)	

4 あとがき

今回の自走および水中ロボットによる調査では、調査精度、特に変状の定量的評価の面では問題はあるものの、サイホン全6箇所、総延長L=4.5kmにわたる施設全線の定性的評価、いわば施設全線の変状箇所を網羅する現地踏査（概査）的な調査としては、一応の有効性は確認できた。

今回の調査箇所のように、施設供用後において管路内の目視点検が困難な場合、残水無区間では自走ロボット、残水有区間では水中ロボットを活用することによって、少なくとも施設全線の変状の有無を確認できたことは有意義であったと考えており、今後は漏水箇所などの不具合箇所、あるいは施設周辺の状況や基礎地盤に起因して不具合の生じる可能性がある箇所など、特定した点的調査においては両ロボットによる調査は非常に有効であると考えている。

また、今回の調査では、水中ロボットの搬出入は当初、土砂吐点検孔からを計画していたが、点検孔の開閉不具合によりその殆どがサイホン呑吐口から実施しており、土砂吐などの管理施設の日常点検の重要性も再認識する必要がある。

今後の効果的かつ効率的なストックマネジメントを実施する上では、定性的評価からも施設の健全度評価を行えるような手法の検討も必要と考えられ、本調査事例がその一助となれば幸いである。

最後に、本報文をまとめるにあたり御助言頂いた北海道開発局旭川発建設部ならびに関係各位に対し、ここに深甚なる謝意を表します。

(株)三祐コンサルタンツ札幌支店

肥培かんがい効果検証調査結果を用いた営農支援

酒井 邦晴

1. はじめに

(1) 調査の目的

本地区は、北海道留萌支庁管内の北部に拓けた酪農地帯で、総面積の約8割が原野と山林で占め、サロベツ原野は利尻礼文サロベツ国立公園の入り口でもあり豊かな自然を有している。

地域の酪農は、昭和26年の道貸付牛の導入等の政策により、乳牛多頭化が進められてきたが、経営規模の拡大にともなう家畜ふん尿処理が問題となっていたほか、農地の生産性も低い状況にあった。

このため国営かんがい排水事業「幌進（一期、二期）地区」により、貯水池1箇所、用水路43km、ファームポンド1箇所、畑地かんがい施設28箇所の整備を図り、家畜ふん尿を有効活用した自然循環型農業を推進し、農業生産性の向上及び農業経営の安定化を図ることを目的に、平成10年度に事業着手、平成20年度に事業が完了した。

本調査は、本事業で整備された肥培かんがい施設

<調査の実施期間>

過年度調査実施状況

	平成11年	平成12年	平成13年	平成14年	平成15年	平成16年	平成17年	平成18年	平成19年
A農家	—	—	—	○	○※	—	●	●	●
B農家	—	—	—	△※	●	—	●	●	●
C農家	○	○	○	—	※	—	—	●	●

注1) ○：整備前調査 ●：整備後調査 ※：施設整備年

(2) 調査の概要

肥培かんがい施設整備による事業効果の発現状況を検証するため、代表農家（3戸）を対象とした施設整備前後における営農変化を「農家経営」、「飼料生産状況」、「営農投下労働」、「営農経費」の観点から調査を実施し、効果の発現状況を可能なかぎり定量化することを目的に数値的な把握、検証に努めた。また、代表農家を除く肥培かんがい整備農家を対象に訪問面接方式のアンケート調査を実施し、代表農

の事業効果を検証するため、平成11年から平成19年にかけて、代表農家（3戸）を対象とした肥培かんがい施設の整備前後における営農変化を調査するとともに、代表農家を除く肥培かんがい施設導入農家（25戸）を対象に施設整備前後の営農変化を確認するための聞き取り調査を調査最終年度（平成19年度）に実施し、事業効果の発現状況と受益農家の抱える課題を明らかにし、受益農家の経営改善に資する資料を作成することを目的とした。

<地区の概要>

- ・関係市町村：北海道天塩郡幌延町
- ・受益面積：1,653ha
- ・受益戸数：29戸
- ・工 期：幌進（一期）平成10年～平成19年
幌進（二期）平成13年～平成20年
- ・主要工事：貯水池1箇所、用水路43km、ファームポンド1箇所、肥培施設28箇所

家を対象とした調査結果の妥当性、本地区の酪農家が抱える課題等の把握に努めた。

受益農家への調査にあたっては、農家聞き取り調査を基本に、JA幌延町資料（土地利用、家畜飼養、営農経費、乳量・乳質など）、農業共済組合資料（家畜疾病状況）を用い営農変化を検証した。飼料生産状況は、対象ほ場による収量調査により、施設導入による牧草生産性の変化を検証した。

(3) 主な調査項目及び調査手法

1) 代表農家を対象とした調査

① 農家経営調査（土地利用、就労、家畜飼養頭数、乳量・乳質、家畜疾病）

肥培かんがい施設の整備にともなう、営農作業及び各作業の労働時間の変化が農家経営に与えた影響を検証するため、施設整備前後における農家経営の変化を調査した。

調査項目は、①農地に関すること（土地所有状況、賃貸借状況、土地利用状況）、②労働力の確保に関すること（家族労働状況、ヘルパー利用状況）、③家畜飼養に関すること（成牛頭数、育成牛頭数）、④乳量・乳質に関すること（乳量、乳脂肪、蛋白質、無脂固形分）⑤家畜疾病に関すること（疾病頭数、治療費）である。

② 飼料生産状況調査（圃場履歴、牧草単収・成分）

家畜ふん尿を腐熟化（スラリー、堆肥）して、ほ場に還元することによって作物生産性の向上が見込まれることから、牧草の収量調査及び成分分析調査を実施し、施設整備前後における牧草収量と成分の変化を調査した。

対象ほ場の選定にあたっては、ほ場条件が大きく変わらないよう事業実施期間中に草地更新を行わないほ場とし、ほ場履歴調査（最終草地更新年度、更新時の草種・播種量、化学肥料の散布時期・散布量、施設整備後のスラリー散布時期・散布量）を行った。

収量調査の実施にあたっては、代表農家との調整により刈り取り作業直前の調査を基本とし、各農家2ほ場、各ほ場3地点（1地点：1m×1m）で実施し、平均値で対象圃場の単位当たり収量とした。

牧草成分分析は、収量調査を実施したほ場の牧草成分を調査することとし、牧草の栄養価（TDN（可消化養分総量）、CP（粗タンパク質）、Ca（カルシウム）、P（リン）等）、安全性（NO³-N（硝酸帯窒素）等）について調査を行った。

③ 営農投下労働調査（牛舎内作業、牛舎外作業）

肥培かんがい施設の整備にともない、家畜ふん尿処理に係る作業体系が変化するとともに、その他の作業についても作業内容、作業時間が変化する可能性があるため、農家聞き取りにより4月から11月の作業種別の労働時間を調査し、肥培かんがい導入前後の営農投下労働時間を調査した。

調査項目は、牛舎内作業（床掃除、搾乳時間、給餌作業、バルクタンク洗浄、牛移動、巡回など）、牛舎外作業（施肥作業、牧草収穫作業、ふん尿処理作業など）である。

特に作業体系が大きく変わると想定されたふん処理作業については、①スラリー製造に係る作業（施設の運転・管理、スラリー散布）、②堆肥に係る作業（ふん切返し、積み込み・搬送、堆肥散布）について重点をおき調査を行うこととし、施設導入前調査の実績と対比し、労働時間の変化を検証した。

また、スラリー散布により化学肥料の単位当たり散布量・散布時間及び、その肥料成分についても変化が生じると予測されたことから、施設整備前後の化学肥料の散布状況について調査を行った。

④ 営農経費調査（肥料費、飼料費、電気料、燃料費）

肥培かんがい施設の整備にともない、節減することが予測される化学肥料費、濃厚飼料費の節減状況、肥培施設の運転により増加が見込まれる水道費・光熱費の増加について、施設整備前後における変化を調査した。

2) 肥培施設導入農家への聞き取り調査（代表農家3戸を除く）

肥培かんがい施設整備農（25戸）を対象に施設整備前後の経営等変化状況を確認した。

① 草地管理に関すること

スラリー散布状況（散布時期、散布量）、化学肥料散布状況（散布時期、散布量、肥料成分）の変化

② 生産性に関すること

牧草単収の変化、マメ科牧草の変化、草地更新時期の変化、牛の食い込み

③ 労働時間に関すること

労働時間節減状況（作業種別）の変化

④ 畜舎周辺環境に関すること

畜舎周辺環境の変化（臭い、見た目など）

⑤ 営農経費に関すること

濃厚飼料給与量の変化、化学肥料の購入量の変化、水道・光熱費の変化

⑥ スラリー製造に関すること

施設の稼働日数（牛舎→流入口、流入口→調整槽、調整槽→配水調整槽、曝気作業、攪拌作業）施設の稼働時間（曝気時間、攪拌時間）

3) スラリー成分分析調査

肥培かんがい施設整備農家を対象に肥培施設で調整されたスラリーの性状を把握するためのスラリー性状分析調査（窒素、リン酸、カリウム、ph）を実

施した。

また、地区内の肥培かんがい施設は、その大半が除塵機を用いたふん尿分離方式であり、除塵機（スクリュープレス、ローラープレス等）の違いにより、ふん尿の分離度合が異なる可能性があるため、除塵機の概要を調査した。

（4）調査結果

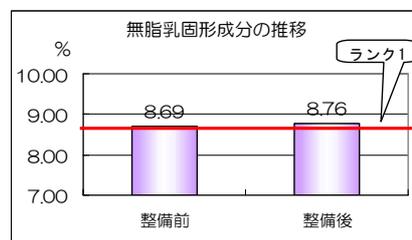
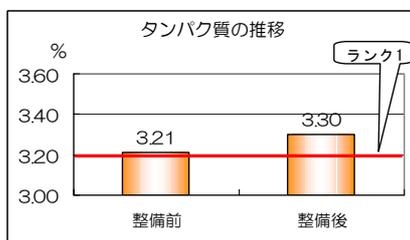
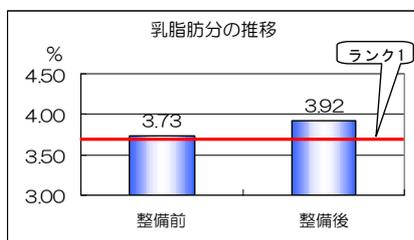
1) 農家経営調査結果の概要

代表農家の経営面積は、3戸中2戸で施設整備前から約10ha拡大し、戸当り経営面積は73haとなっており、幌延町の戸当り平均経営面積70ha（2005年センサス）と比べ、ほぼ同水準にある。

就労状況は、家族経営（3～4人）が基本となっており、搾乳作業にヘルパーを活用しているが延べ15日以内で、施設整備前後で大きな変化はみられなかった。

家畜飼養頭数は、施設整備前後で大きな増減はなく、戸当り平均飼養頭数は107頭で幌延町の戸当り平均飼養頭数96頭（2005年センサス）に比べ、ほぼ同水準にある。

乳量・乳質は、施設整備後で全国乳質改善協会の定める乳成分ランクにおいてランク1に該当し良質な生乳生産が行われている。乳質の悪化は生乳取引価格にも影響を与えることから、良質な牛乳生産は農業経営の安定に繋がっている。



注1) 対象農家は代表農家

注2) 資料は検定成績書(牛群)による

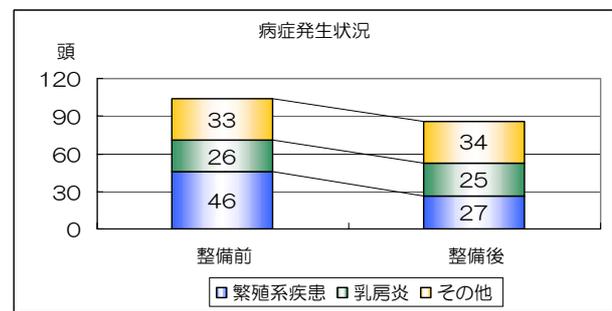
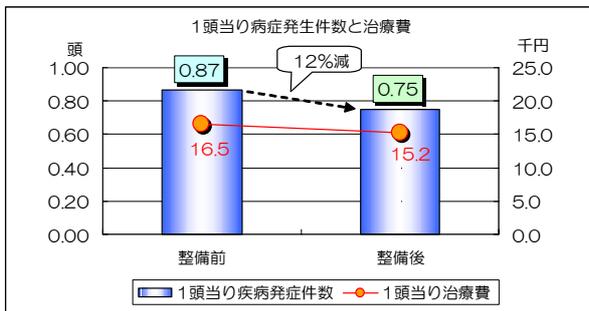
乳成分ランク区分

対象項目	ランク 1	ランク 2	ランク 3	ランク 4
乳脂肪	3.7以上	3.5～3.69	3.0～3.49	3.0未満
タンパク質	3.2以上	3.0～3.19	2.7～2.99	2.7未満
無脂乳固形成分	8.7以上	8.4～8.69	8.0～8.39	8.0未満

資料：全国乳質改善協会

家畜疾病状況は、いずれの農家も減少傾向にあり、2戸で繁殖系疾患、1戸で乳房炎が減少している。酪農家ではふん尿処理に係る労働時間が節減し、搾乳牛の見回り等、飼養管理時間の確保が容易になり、

牛の疾病早期発見が可能になりつつあるほか、乳質の向上にも繋がっていると評価しており、施設整備によるふん尿処理作業の軽減が、家畜の飼養管理に良い影響を与えていると推測される。



注1) 対象農家：対象農家と施設導入農家の平均値

注2) 対象：整備前（スラリー散布前）、整備後（スラリー散布後）
（農業共済組合資料による）



注1) 対象農家：施設導入農家(代表農家を除く25戸)

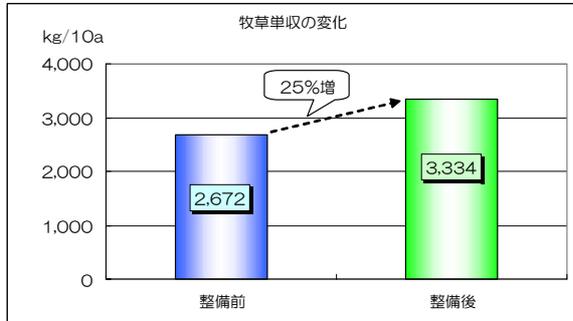
注2) 対象：整備前（スラリー散布前）、整備後（スラリー散布後）

資料：農業共済組合資料

2) 飼料生産状況調査結果の概要

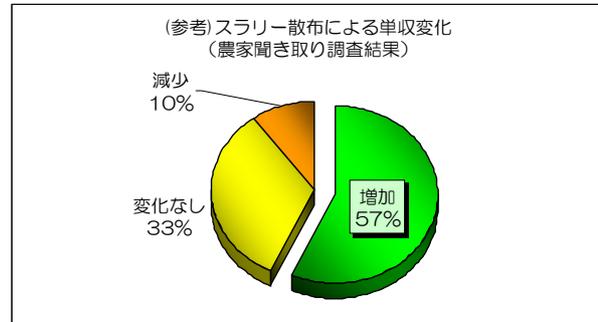
① 牧草収量調査結果

収量調査の結果、3戸中2戸で収量増が確認され、3戸平均で施設整備前より25%の牧草収量の増加が確認された。また、農家聞き取りに



注2) 対象年度：整備前（スラリー散布前）、整備後（スラリー散布後）

においても約6割の農家で牧草収量が増加したと感じており、家畜ふん尿を腐熟化（スラリー、堆肥）して、ほ場に還元することで、牧草の生育に良い影響を与えていると推測される。



注1) 対象農家：施設導入農家(代表農家を除く25戸)

② 牧草成分分析結果

牧草成分分析の結果、スラリー散布ほ場におけるTDN（可消化養分総量）は、日本飼養基準（1999年）のチモシーのTDN標準値（60.1%）を上回る65.3%であった。

また、牧草の安全性を確認するため、硝酸態窒素（ $\text{NO}_3\text{-N}$ ）について確認を行ったが、いずれのほ場も0.1%未満であり、どのような状態で給与しても安全と判断され、スラリー散布による牧草品質への悪影響はないと推測される。

参考) 硝酸態窒素含有量と給与上の注意点

$\text{NO}_3\text{-N}$ 含量 (乾物中%)	危険の有無と注意点
0.0-0.1	どのような状態でも安全
0.1-0.15	非妊娠動物では安全、妊娠動物では粗飼料の50%給与では安全
0.15-0.2	乾物量で粗飼料の50%給与まで安全
0.2-0.35	飼料の35-40%に制限する。妊娠動物には使わない
0.35-0.4	飼料の25%以下に制限する。妊娠動物には使わない
0.4以上	中毒の恐れがあるので給与しない方がよい

資料：自給飼料品質評価研究会編「粗飼料の品質ガイドブック」より抜粋

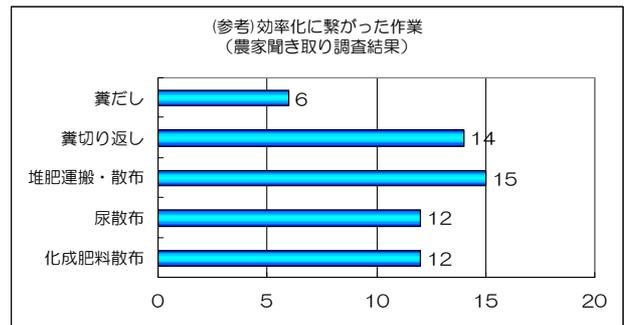
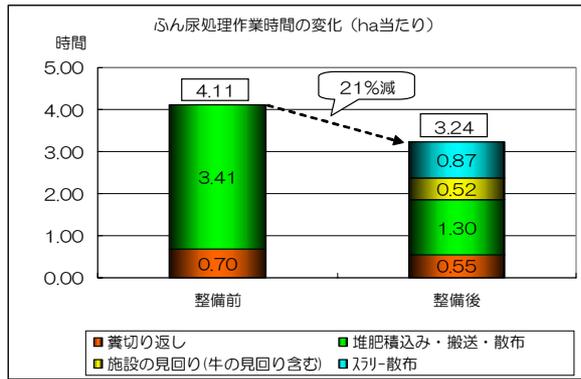
3) 営農投下労働調査結果の概要

営農投下労働調査において牛舎内作業、牛舎外作業の労働時間について調査を行った結果、肥培かんがい施設整備前後で労働時間が変化した作業として、ふん尿処理に係る作業が減少している。

特に牛舎から排出された糞（敷ワラ含む）の「切り返し作業」、「堆肥積み込み・搬送作業」、「堆肥散布作業」で作業時間の節減が確認されている。

酪農家では、牛舎から排出されるふん尿は除塵機によって水分（尿）が脱水され、作業機械による切

り返し作業が容易になったと評価している。また、水分調整が容易になり堆肥の発酵が促進されるなど、堆肥の製造に良い影響を与えているほか、施設整備前には多量の水分を含んだ堆肥をマニュアルスプレダに積み込み、ほ場まで運搬・散布していたが、整備後には堆肥の積み込み・運搬・散布作業が容易になるとともに、堆肥運搬時の道路への“こぼれ落ち”がなくなり、周辺環境の改善にも繋がっていると評価している。



注1) 対象農家：施設導入農家（代表農家を除く24戸）

注1) 対象農家：対象農家と施設導入農家の平均値

注2) 対象：整備前（スラリー散布前）、整備後（スラリー散布後）

4) 営農経費調査結果の概要

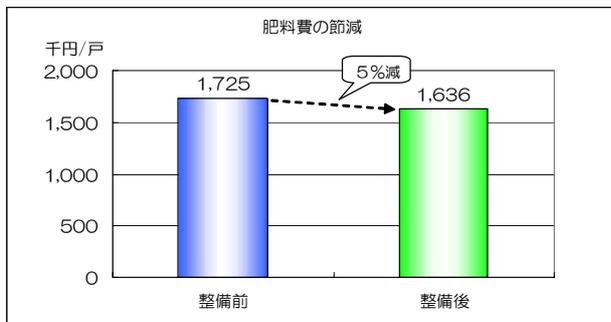
営農経費調査において肥料費、飼料費、水道・光熱費の調査を行った結果、肥培かんがい施設整備前後で購入肥料費の節減、水道・光熱費の増加が確認された。

① 肥料費

肥料単価が上昇（平成15年から平成18年までに平均27%上昇）するなかで、戸当り肥料費は、整備前の1,725千円/年から整備後の1,636千円/年へ89千円/年節減している。また、農家聞き取

りにおいても散布量を減らしている酪農家が多く確認されており、スラリー散布が化学肥料の節減に繋がっている。

但し、化学肥料の散布量は、スラリーの肥料成分分析及び土壌調査等の結果から施肥設計を行い、スラリー散布で補えない肥効分を単肥で補うことが望ましい。しかしながら、受益農家で施肥設計を立てている農家は少ない状況にあり、適正な肥培管理を行うことで更に効果が発現する可能性がある。



注1) 対象農家：対象農家と施設導入農家の平均値

注2) 対象：整備前（スラリー散布前）、整備後（スラリー散布後）

資料：JA幌延町資料による

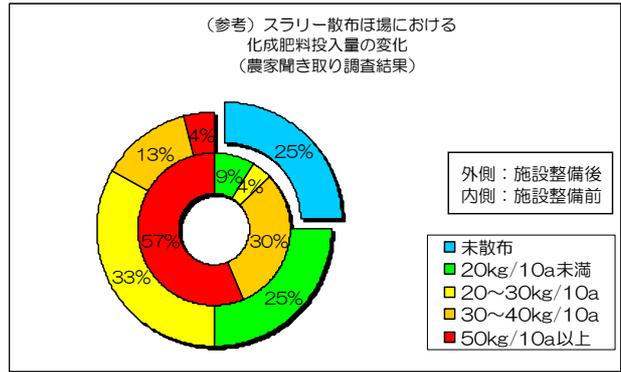
肥料単価増加率

		平成15年	平成18年	増加率	
単肥	硫安	20kg	501	689	38
	重過石	"	1,222	1,497	23
	塩化加里(粒)	"	828	1,111	34
B B 肥料	草地化成BB052	"	1,055	1,302	23
	草地化成BB055	"	1,148	1,411	23
	草地化成BB121	"	1,037	1,264	22
平均		"			27

資料：JA幌延町

○代表農家における化学肥料投入量の変化

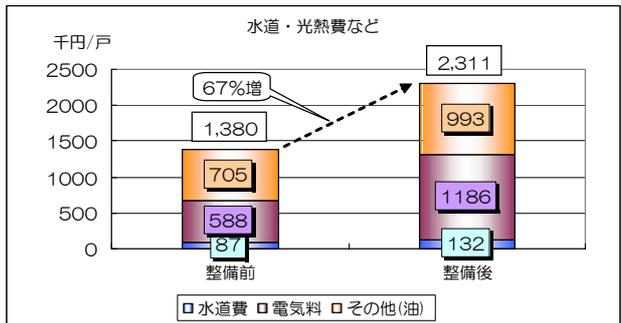
A 農家
整備前：30kg/10a (B B 肥料)
整備後：30kg/10a (B B 肥料)
B 農家
整備前：30kg/10a (B B 肥料)
整備後：30kg/10a (単肥)
C 農家
整備前：40kg/10a (B B 肥料)
整備後：20kg/10a (グリーン1号)



注1) 対象農家：施設導入農家(代表農家を除く24戸)

② 濃厚飼料費

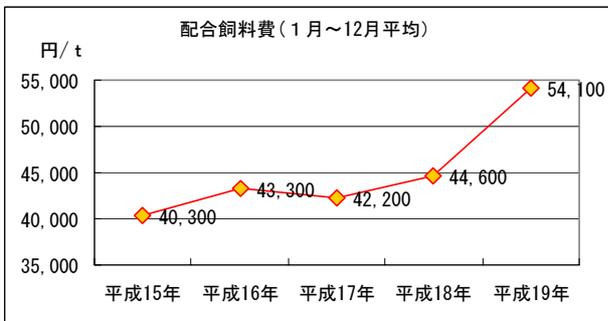
戸当り濃厚飼料費は、整備前の13,224千円/年から整備後の14,421千円/年へ1,197千円/年増加し、1頭当りで5%の増加となっている。但し、濃厚飼料単価の上昇(平成15年から平成19年までに平均11%上昇)を考慮すると飼料費の節減に努めていると推測される。農家聞き取りでは、濃厚飼料給与量の変化は乳量にも影響する恐れがあるため、急激な飼料給与量の節減は難しいと感じている。



注1) 対象農家：対象農家と施設導入農家の平均値

注2) 対象：整備前(スラリー散布前)、
整備後(スラリー散布後)

資料：JA幌延町資料による



資料：JA幌延町

③ 水道・光熱費

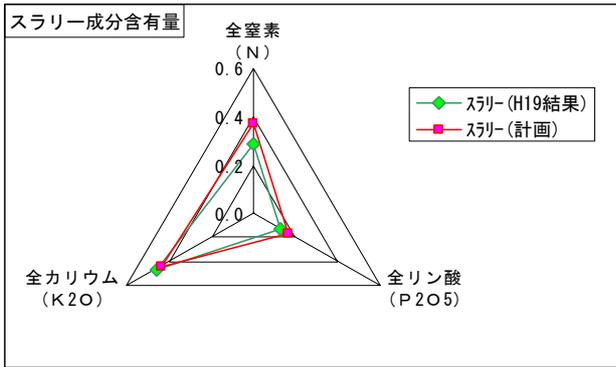
水道・光熱費は、整備前の1,380千円/戸から整備後の2,311千円/戸へ931千円/戸増加しており、これは施設の稼働(曝気ポンプなど)によるものと推測される。

5) スラリー成分分析調査結果の概要

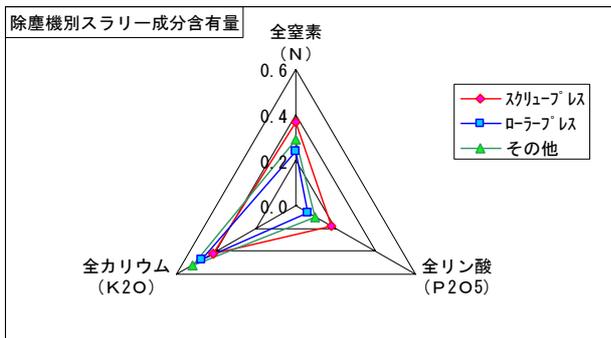
① スラリー成分分析結果

スラリー成分分析を実施した25戸の平均スラリー成分含有量は、全窒素(N) 0.29%、全リン酸(P₂O₅) 0.13%、全カリウム(K₂O) 0.46%であり、国営幌進土地改良事業計画の成分含有率(計画値)に比べて窒素が低い傾向にあった。

農家間でスラリー成分含有量に差が生じており、要因の一つとして除塵機の違いが上げられる。地区内で整備された除塵機は大きく①スクリーンプレス、②ローラープレス、③その他(スノコ)に区分されるが、ローラープレス、スノコによる分離方式はスクリーンプレスに比べ、ふんの混入量が少なく肥料成分量が異なる結果となっている。また、スラリーの希釈倍率、曝気や攪拌時間等も影響しているものと推測される。



スラリー (H19結果) : 施設導入農家25戸の平均値
スラリー (計画) : 国営幌進土地改良事業計画変更説明資料の成分含有率(計画値)の算定基礎



スラリー (H19結果) : 施設導入農家25戸の平均値

除塵機タイプ別にみたスラリー成分分析

単位: g/l

タイプ	試料番号	pH	全窒素 [N]	全リン酸 [P ₂ O ₅]	全カリウム [K ₂ O]	備考
スクリープレス	1	7.4	3.22	0.55	3.58	
	2	7.4	3.60	1.57	5.19	
	4	7.3	5.59	1.43	3.55	
	9	7.0	3.70	1.50	6.25	
	10	7.2	4.12	5.73	4.22	
	12	7.0	2.21	0.63	2.93	
	15	7.5	2.09	2.59	3.78	
	16	7.3	2.82	1.18	4.57	
	22	7.7	0.13	0.12	0.80	
	24	6.8	8.20	3.13	7.11	
平均			3.57	1.84	4.20	
ローラープレス	5	8.7	1.86	0.13	4.30	
	6	7.0	2.52	0.91	5.23	
	8	7.3	4.27	0.59	6.28	
	11	8.0	1.20	0.69	2.42	
	13	8.8	2.62	0.68	7.79	
	18	8.0	1.75	0.18	2.37	
	19	7.1	3.47	1.75	5.52	
	23	8.5	1.61	0.10	4.33	
平均			2.41	0.63	4.78	
その他	3	8.7	2.24	0.11	4.85	
	7	8.5	2.70	0.90	7.38	
	14	7.3	1.88	0.84	3.47	
	17	6.9	4.40	1.73	3.42	
	20	7.4	4.79	1.91	5.95	
	21	7.5	1.39	0.06	6.48	
	25	6.7	3.12	1.43	4.50	
平均			2.93	1.00	5.15	

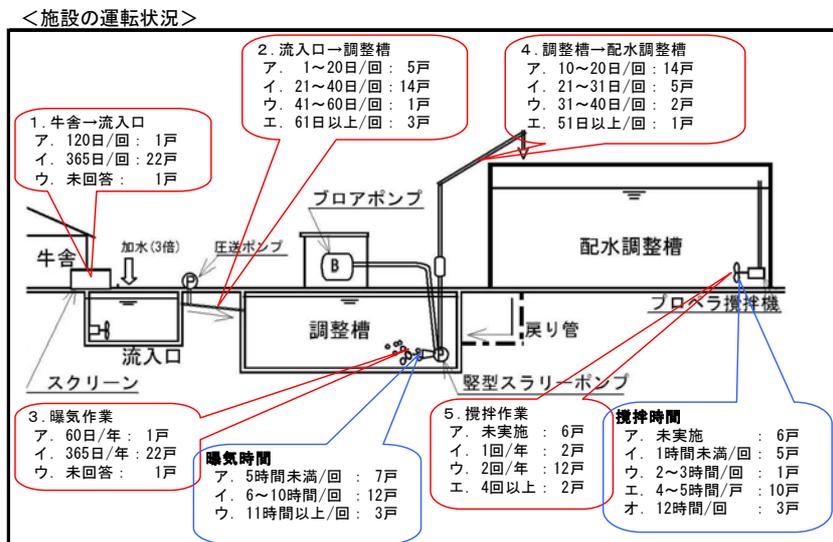
② 肥培かんがい施設の稼働状況

肥培かんがい施設の運転は、施設整備時の曝気試験より施設の稼働時間がタイマーにより設定されているが、農家の中に手動(タイマー解除)で施設を稼働させている農家もあり、適正な曝気時間が確保されていない可能性もある。

施設の稼働状況は、曝気作業は毎日(365日)行っている農家が9割以上を占めるが、1日の

曝気時間は「11時間以上/日」が約1割、「6～10時間/日」が約6割、「5時間未満」が約3割となっている。

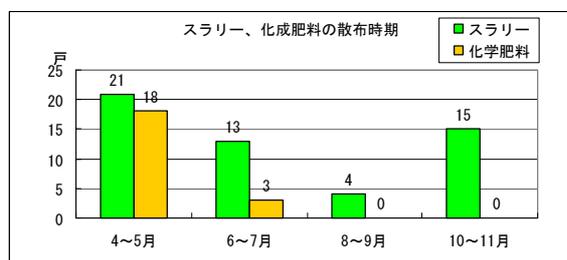
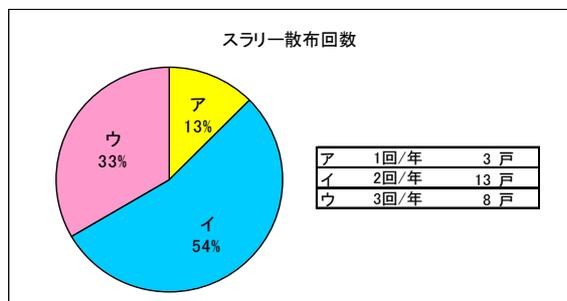
また、スラリー散布前に攪拌作業が行われているが、攪拌時間についても農家によって違いが確認され、未実施と回答した農家(6戸)もあり、スラリー成分の均一化が図られないまま散布されている可能性がある。



農家聞き取り結果による

③ スラリーの散布状況

スラリー散布は、1番草収穫前（4～5月）と1番草収穫後（6～7月）の年2回散布が最も多く、次いで土壌が凍結する前の10月頃の散布も含めた3回散布が多い傾向にある。



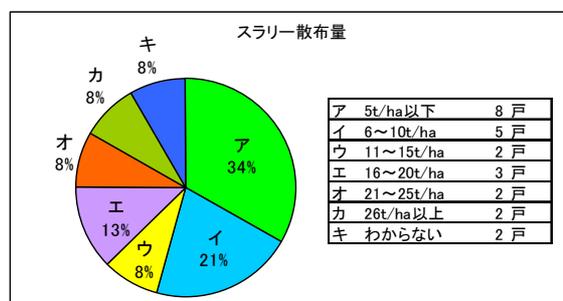
(4) 受益農家の課題と対策

飼料生産状況調査の結果から牧草収量の増加、栄養価及び安全性の確保が図られているほか、ふん尿処理作業の効率化等の効果が発現していると想定されるが、一方で、肥培施設の稼働状況、スラリー成分、スラリー及び化学肥料の散布状況などが農家によって異なっている。

スラリー散布により化学肥料の散布回数及び散布量を減少させている農家が多いが、施肥設計を行いスラリーで補えない肥効分を単肥で補うのではなく、施設整備前に使用していた化学肥料を使用している農家も多い状況にあり、肥培かんがい施設導入後の経過年数も短いことから、適正な施肥管理の確立に至っていないことも考えられる。

適正な肥培管理の実施により、更に効果の発現が期待されることから、良質スラリーの製造、スラリー及び化成肥料の適正な施用に向けた啓蒙資料を農家個々に作成することとした。

スラリーの散布量は、農家個々で大きく異なっており、整備後の経過年数が短い農家では、適正な散布量が解らないとの意見もあり、適正量の散布が行われていない可能性がある。



注1) 対象農家：施設導入農家（代表農家を除く25戸）

1) スラリーの腐熟度を判断する簡易法

良質スラリーの製造に向けて、スラリー腐熟度の判定方法を紹介することとした。現場で簡易に腐熟度を判定する方法として、粘性、臭気、色調、pH、液温の変化が挙げられる。しかし、粘性と臭気は化学的に定量化した場合を除き、主観的要素が大きいため簡便な判定項目として利用することは実用的ではないと判断し、現場で簡易に測定可能で客観的に判定が出来る色調、pH、液温の方法について紹介した。

① 色調変化からの判定

曝気処理による腐熟化にともなう色調変化をAF-123標準土色帖（農林水産省農林水産技術会議事務局監修）を用いて紹介した。

② 成分構成（pH）からの判定

流入口における原スラリーのpHは、一般に概ね6～7の微酸性～中性を示すが、その後、調整槽で曝気による分解過程でpHが上昇（アルカリ性に移行）し、その後安定段階に入る。腐熟の目安はpHが7.8以上になると考えられ、

成分構成からの変化（pHの変化）を簡易かつ安価に測定が可能である試験紙及び器具等について紹介した。

③ 微生物反応（液温）からの判定

スラリーの液温は、曝気処理により上昇し40℃～50℃で安定すると考えられており、微生物反応からの変化（液温の変化）を計測するため、肥培施設への水温計の設置や、農家自身が簡易かつ安価に測定が可能となる水温計について紹介した。

2) スラリー成分分析結果を用いた化学肥料の投入量と節減額

スラリー成分分析結果を用いて、スラリーの肥料成分量から化学肥料の投入量の試算を行うとともに、スラリー散布しない場合の化学肥料の投入量を試算

し、化学肥料費の節減額を試算した。この試算は農家個々に実施し、化学肥料の投入量の参考となることを目的とした。

下記に試算例を整理する。スラリー成分量は28戸の平均値、化学肥料は地元農家で現在も多く使用されている肥料（BB055）を使用して試算した。

① 化学肥料補填量の算出

施肥基準量は、北海道施肥ガイドに準じて設定した。

現在のスラリー散布量、肥料成分量から化学肥料の補填量を算出した。

その結果、化学肥料の補填量を窒素60kg/ha、リン酸69kg/ha、カリウム139kg/haと設定した。

表－1 現在のスラリー散布状況

スラリー散布量：	22 t/ha (地域の平均散布量)
----------	-----------------------

表－2 スラリー成分含有率（平成19年調査結果） 単位：%

	全窒素 [N]	全リン酸 [P ₂ O ₅]	全カリウム [K ₂ O]
H19分析結果	0.29	0.13	0.46
(参考) 計画	0.37	0.16	0.44

表－3 スラリー成分量の算出（スラリー散布 22 t/haの場合）

	(ha当り肥効量)	(成分含有率)	(肥効率)	(品質補正係数) (施肥時期補正係数)		
				(Q)	(T)	
窒素 (N)	22,000kg/ha	× 0.29%	× 40%	× 1.0	× 0.80	= 20kg/ha
リン酸 (P)	22,000kg/ha	× 0.13%	× 40%	×	×	= 11kg/ha
カリウム (K)	22,000kg/ha	× 0.46%	× 80%	×	×	= 81kg/ha

表－4 スラリー22 t/ha散布の場合の化学肥料補填量 単位：kg/ha

	基準 施用量 ①	スラリー 成分量 ②	化学肥料 補填量 ③=①-②	備 考
窒 素	80	20	60	
リン酸	80	11	69	
カリウム	220	81	139	

注1) 基準施用量は、表－5による

注2) スラリー成分量は、表－3による

表－5 牧草地の施肥標準量

	地帯	地帯 区分	まめ 科率 区分	泥 炭 土 (kg/10 a)			
				目標 収量	施肥標準量		
				N	P ₂ O ₅	K ₂ O	
採草地の維持段階 (チモシ草地)	道北	10 ～ 12	1	4,000 ～ 4,500	2	10	22
			2		4	10	22
			3		8	8	22
			4		14	8	22

資料：「北海道施肥ガイド」 平成14年9月

② 化学肥料費の試算

①で試算した化学肥料補填量を基に肥料費がどれくらいかかるかを試算した。

化学肥料銘柄の選定に当たっては、地域で比較的多く使用されているBB055を基本とし、不

足成分を単肥で補うこととした。

その結果、化成肥料の購入費はスラリー散布の場合で34千円/ha、スラリー散布を行わない場合で46千円/haで12千円/ha (27%) の節減となる。

表－6 化成肥料補填量に対する金額

銘柄	①スラリー散布の場合			②スラリーを散布しない場合		③差 額 (割合) (③=①-②)	
	化学肥料 銘柄別補填量 (kg/ha)	化学肥料 単 価 (円/kg)	金 額 (円/ha)	最大化学肥料 銘柄別補填量 (kg/ha)	金 額 (円/ha)	差 額 (円/ha)	(割合) (%)
BB055	276	70.6	19,486	320	22,592	△3,106	△14
硫安	152	34.5	5,244	229	7,901	△2,657	△34
塩化カリ	163	55.6	9,063	287	15,957	△6,894	△43
計			33,793		46,450	△12,657	△27

注1) 化学肥料銘柄別補填量は、表－8による。※化学肥料費の節減率は27%になります。

注2) 肥大化学肥料銘柄別補填量は、表－9による。

表－7 化学肥料銘柄別補填量の算出 (スラリー散布22 t /haの場合)

単位 : kg/ha

銘柄	化学肥料 補填量	BB肥料			不足分	硫安		塩化カリ	
		成分量	上限値	補填量		成分量	補填量	成分量	補填量
窒素 (N)	60	10		28	32	21	152		
リン酸素 (P ₂ O ₅)	69	25	276	69					
カリウム (K ₂ O)	139	15		41	98			60	163
計			276				152		163

注1) 化学肥料補填量は、表－5による。

注2) リン酸はBB055で全て補填することとし、不足分を単肥で補填することとしました。

○BB055の散布量 (上限値) にそれぞれの肥料成分を乗じて、BB055で補填可能な成分量を算出した。

○BB055で補えない肥料成分 (不足分) を単肥 (硫安、塩化カリ) で補充する。

表－8 スラリーを散布しない場合の化学肥料銘柄別補填量の算出 (最大化学肥料銘柄別補填量) 単位 : kg/ha

銘柄	基 準 施用量	BB肥料(未使用)			不足分	硫安		塩化カリ	
		成分量	上限値	補填量		成分量	補填量	成分量	補填量
窒素 (N)	80	10		32	48	21	229		
リン酸素 (P ₂ O ₅)	80	25	320	80					
カリウム (K ₂ O)	220	15		48	172			60	287
計			320				229		287

注1) 基準施用量は、表－1による。

表－9 化学肥料の単価

肥料名	成分量 (%)			価 格
	全窒素 [N]	全リン酸 [P ₂ O ₅]	全カリウム [K ₂ O]	
BB055	0.10	0.25	0.15	1,411円/20kg、(70.6円/kg)
硫安	0.21	—	—	689円/20kg、(34.5円/kg)
塩化カリ	—	—	0.60	1,111円/20kg、(55.6円/kg)

資料 : JA幌延町資料 (平成18年12月資料)

③ 試算結果の考察

化学肥料の購入費は、受益農家の平均値を用いた場合で、スラリー散布の場合で34千円/ha、スラリー散布を行わない場合で46千円/haで12千円/ha（27％）の節減となった。但し、スラリー成分（H19結果）は、個々で成分量が異なっており、スラリーの肥料成分量が低い酪農家では化学肥料費の節減効果が見込めない場合もある。このため肥培かんがい施設の適切な運用とスラリー腐熟度の判断を行いスラリーの窒素、リン酸、カリウムの3要素の成分量をいかに高めるかが、肥料費節減に重要と考えられる。

3) 濃厚飼料節減の可能性

調査農家のスラリー散布ほ場における牧草収量及び成分分析結果から、購入飼料の節減の可能性について検討した。但し、飼料の給与体系を急激に変更

することは難しいと考えられ、牛の健康状況等をみながら飼料の節減に取り組むことが必要であり、営農経費節減の一つの例として紹介した。

検証の結果、牧草生産量が25％増と仮定した場合で、濃厚飼料費の節減額は、ha当たり約41千円の節減が見込まれる。

① 飼料費節減額の検討

ア. 経営面積：73ha（うち採草地 56.4ha）

飼養頭数：107頭（うち経産牛 62頭）

（平成19年調査結果：対象農家の平均値）

イ. 牧草の生産量

スラリー散布 1,881 t（3,334kg/10a × 56.4ha）

スラリー未散布 1,507 t（2,672kg/10a × 56.4ha）

} 374 t（25％増収）

ウ. 牧草の増加生産量に伴うTDN養分量の増加

利用区分	生草換算	利用率	利用量	TDN		利用面積割合
				率	養分量	
乾草	112	18	20.2	49.6	10.0	30%
サイレージ	187	60	112.2	20.7	23.2	50%
生草	75	70	52.5	11.7	6.1	20%
計	374				39.3	

注1) 利用率は、生草中の利用率を示す。（資料：北海道農業生産技術体系）

注2) TDN（率）は、現物中のTDN（％）を示す。（資料：第4次幌延町酪農肉用牛生産近代化計画）

注3) 利用面積割合：生草はH19年度実績より、乾草、サイレージ割合は聞き取りにより利用率を推定。

エ. 飼料費節減額

TDN養分量 (t)	飼料配合比 (%)	飼料量 (t)	飼料単価 (円)	飼料費節減額 (千円)
①	②	③=①×②	④	⑤=③×④
39.3	70	56.1	41,786	2,344 (41.6)

注1) 試算に使用した飼料はスーパーフレイク18（TDN配合比率70％）

注2) 飼料費節減額の下段は、ha当たりの節減額

ha当たり (千円)	ha当り飼料費 節減額 (千円)	ha当たり 推定飼料費 (千円)
⑥	⑦	⑧=⑥-⑦
215.5	41.6	173.9 (19)

注3) ha当り計画飼料費の下段は、現況飼料費に対する減少割合

（５）その後の状況

肥培かんがい施設整備後の現状を確認するため、平成22年度に農家聞き取りを実施した。

農家では、スラリーが化学肥料の代替えとして高い効果があると評価しており、化学肥料の節減にも繋がっている。なお、化学肥料の散布量は、スラリー成分のほか各ほ場の土壌条件にも関係することから、スラリー散布ほ場への化学肥料の多量施用による牧草成分のバランス悪化、例えば窒素過多等に留意して化学肥料を投入している。

また、肥培かんがい施設の運転等について、設置当初は、手動で行っている農家もいたため、施設が故障する農家もみられたが、現在は、適切な施設の運転に心がけている農家が多い。良質スラリーの製造に向けて、除塵機がスクリーンプレスの農家では、ふんの混入割合がローラープレス等に比べ高いことからスラリーの粘性をみながら希釈を行うようになっているほか、スラリーの腐熟度をスラリーの色や臭いで判断するなどして、良質スラリーの製造と、適正な施肥管理に向けて取り組んでいるところである。

２．おわりに

事業効果に関する調査は、平成11年度から平成19年度までに8ヵ年実施した。平成20年度に事業が完了し、翌年の2月に受益農家を対象とした地元説明会が実施され、本業務の調査結果として、肥培かんがい施設整備による牧草生産性の向上、牧草成分の品質及び安全性の確保、ふん尿処置に係る労働時間の節減、購入肥料費や水道・光熱費の変化をはじめ、乳質の向上、家畜疾病件数の減少などの効果について受益農家に説明が行われた。

また、肥培管理の参考資料として、スラリー散布による化学肥料の補填量等について農家個々に配布され、受益農家が調査結果等を参考に、農家個々の経営にあった肥培管理体制の確立に取り組んでいるところであり、更なる効果の発現に期待したい。

最後に、本文の執筆にあたり、発表の機会を与えていただき、かつ多大なるご協力を頂きました関係各位に感謝の意を表します。

（株）地域計画センター

富士見地区の環境モニタリング調査について

青山 裕俊

1. はじめに

国営総合農地防災事業「富士見地区」は、泥炭土に起因する圃場面の不等沈下や排水路等の機能低下による湛水・過湿被害を解消し、農業経営の安定化を図ることを目的として現在継続中である。

本事業を進めるにあたっては、排水路周辺に生息・生育する動植物や地域の水産資源の保全等環境に配慮した対策を行っている。

本報では、これらの対策の概要とモニタリングで検証した対策効果について紹介する。

- ・主要作物：牧草、青刈りとうもろこし
- ・事業期間：平成17年度着工
平成23年度完了予定

3. 地区の環境特性

本地区を取り巻く地域は、天塩川をはじめとした豊かな自然環境に恵まれており、学術的に重要な動植物の生息も見られる。このため、天塩町の田園環境整備マスタープランでは自然環境、生態系、水辺環境の保全に配慮した農業基盤整備を推進する方針が示されている。

また、本地区の排水先である天塩川河口部は地域の重要な漁場となっており、近年は泥炭由来の鉄分流出による水産資源への影響等が問題となっている。このため、国・道・町・漁協等が一体となり、資源保全に向けた水質保全等の取り組みが進められている。

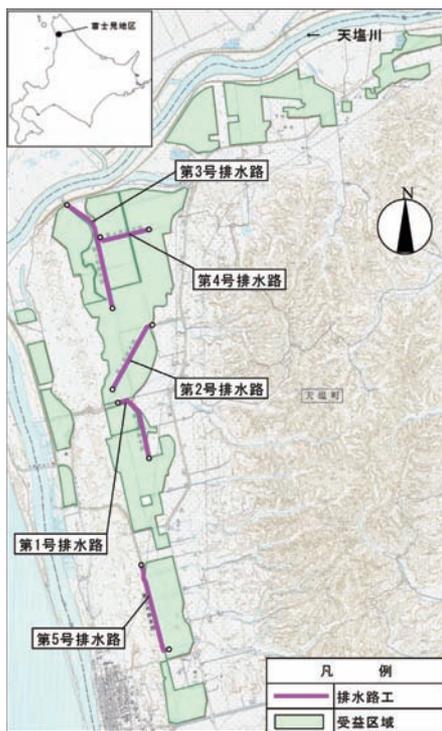
本地区の環境配慮対策は、こうした地域の現況と課題を踏まえて検討した。

4. 環境配慮対策の概要

(1) 植物・魚類の保全

本地区の主要工事である排水路整備は、現況水路の周辺や水路内の環境変化を伴うことから、植物や魚類への直接的な影響が考えられた。このため、平成17～18年度に植物と魚類を対象とした事前調査を実施し、現況把握を行った。

排水路施工前の植生は、隣接する牧草地との間に草本群落が広がり、排水路法面には河岸植生や抽水植物が水面を覆うように繁茂していた。魚類は水際植生によって形成される緩流域を主な生息場・産卵場とするトゲウオ類等の小型魚が多く生息していた。



図－1 富士見地区概要図

2. 事業の概要

- ・関係市町村：天塩郡天塩町
- ・受益面積：919ha
- ・主要工事：排水路工 5 条 7.1km、農地保全工（暗渠排水、整地） 752ha

重要種は植物が3種、魚類が6種確認された（表-1、表-2）。

表-1 施工前の植物の状況

排水路周辺	草本群落が多く分布、発達した樹林は殆どない
排水路内	抽水植物：ヨシ-イワノガリヤス群落、ミクリ群落、ドクゼリ群落、マコモ群落、ガマ群落
	沈水植物：イトモ
排水路法面	高茎草本群落：クサヨシ群落、オオイタドリ群落、オオヨモギ群落など
重要種 ^{注)}	ミクリ、タマミクリ、エゾミクリ

表-2 施工前の魚類の状況

排水路内	河岸植生や抽水植物で開水面を覆っている 流れが緩やかで淀み状態、半閉鎖的な環境
魚種	フナ類、ウグイ類、ドジョウ類、トゲウオ類等
重要種 ^{注)}	ヤチウグイ、エゾウグイ、エゾホトケドジョウ、イトヨ、エゾトミヨ、イバラトミヨ

注) 環境省レッドリスト2007、北海道レッドデータブック2001に該当する重要種



写真-1 施工前の排水路周辺状況



写真-2 施工前のミクリ類の繁茂状況

排水路整備にあたっては、こうした現況を踏まえ、①動物類の生息基盤となる排水路沿いの草本群落の保全、②植物重要種（ミクリ類）の保全、③魚類生

息環境となる水際植生の早期回復、④小型魚の隠れ場の創出を環境配慮方針とし、以下の対策を行うこととした。

1) 天然素材シートによる法面被覆工

排水路は素掘りの土水路を基本とし、法面被覆工は天然素材シート（ヤシ繊維製）を採用した。これにより、動物類の生息基盤となる草本群落や、魚類の生息・産卵場となる水際植生の早期回復を図ることとした（図-2、写真-3）。

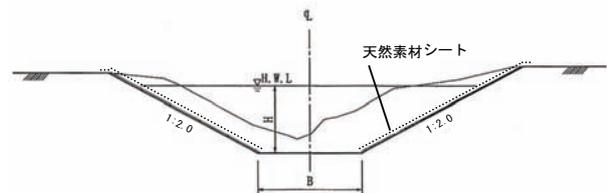


図-2 排水路標準断面図



写真-3 天然素材シートによる法面被覆工

2) ワンド工と植物重要種の移植

各排水路には、複数のワンド工（図-3、写真-4）を設置し、魚類の生息地となる抽水植物の多い緩流域の形成を促すこととした。

また、植物重要種であるミクリ類の保全のため、掘削箇所には繁茂するミクリ類の一部をワンド底部に移植した。

3) 繊維製籠マット護岸工

橋梁工と流入工上下流の重点護岸区間には、栗石を詰めた繊維製籠マット（写真-5）を採用することで小型魚の隠れ場となる空隙部を創出することとした。

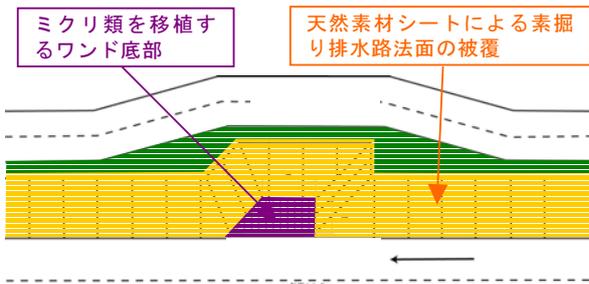


図-3 法面被覆工、ワンド工の平面模式図



写真-4 ワンド工



写真-5 繊維製籠マット護岸工

(2) 水質の保全

水産資源への鉄分影響については、詳細なメカニズムが解明されていないが、泥炭農地等からの排水に含まれる溶解性二価鉄 (Fe^{2+}) が原因の一つと考えられている。このため、本事業の主要工事である農地保全工の整備にあたっては、農地からの Fe^{2+} 流出の抑制を環境配慮方針とし、以下の対策を行うこととした。

1) 石灰石を疎水材に用いた暗渠排水工

農地からの Fe^{2+} 流出を抑制するためには、暗渠排水の整備において除鉄効果のある疎水材を採用する

ことが有効と考えた。

疎水材は、既往知見から砂利、笹幹、木材チップ、石灰石、ホタテ貝殻、ロックウールを候補とし、試験圃場における実証試験で最も高い効果を示した石灰石を採用することとした。

石灰石は、疎水材の周辺をアルカリ性にし、泥炭土に起因する Fe^{2+} イオンに水酸イオンを結合させ、不溶性の水酸化第一鉄の形成を促すことで Fe^{2+} 流出を抑制すると考えられた。

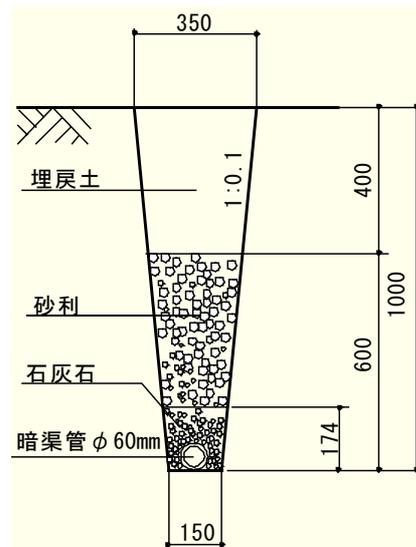


図-4 石灰石を疎水材に用いた暗渠排水工

4. モニタリング調査

上記対策を含む排水路及び暗渠排水の整備は、平成18年度より実施しており（表-3）、施工済み箇所では平成19年度より対策効果検証のためのモニタリング調査を実施している。調査結果の概要は以下に示す。

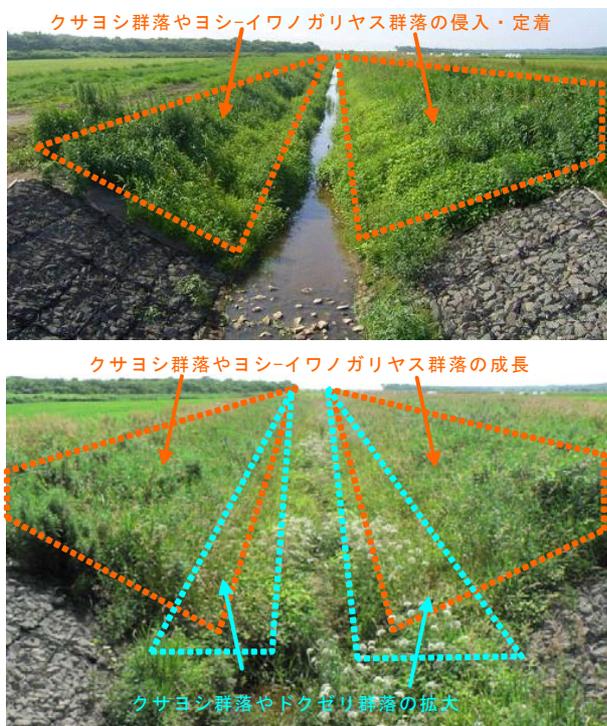
表-3 富士見地区における工事の実施状況

施工年度	排水路	暗渠排水
平成18年度	第2号、3号、4号排水路	99ha
平成19年度	第1号排水路	119ha
平成20年度	第5号排水路	141ha
平成21年度	第5号排水路	184ha

(1) 植生の状況

第1号排水路において平成20～21年度に実施した植生調査では、施工後1年目（平成20年度）で法面被覆工の大部分にクサヨシ群落、ヨシーイワノガリ

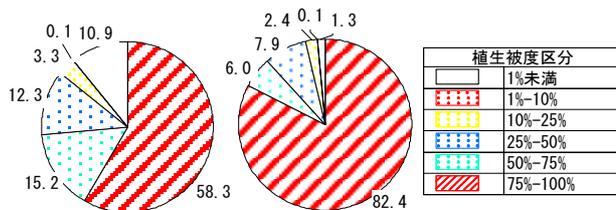
ヤス群落、オオイタドリ群落、オオヨモギ群落などの高茎草本群落の侵入・定着が確認された（写真－6上）。また、植生被度が75～100%に達する箇所の面積は全体の58.3%となっていた（図－5左）。



写真－6 第1号排水路の植生回復状況
（上：施工後1年目、下：施工後2年目）

施工後2年目（平成21年度）は、さらに植生の回復が進み、特に排水路の水際部分において、クサヨシ群落やドクゼリ群落などの水際植生の分布が拡大し、開放水面の上部を覆う成長がみられた（写真－6下）。また、植生被度が75～100%に達する箇所の面積もさらに増加し、全体の82.4%となった（図－5右）。

ワンド底部におけるミクリの移植は、第1号～5号排水路で平成18～20年度に合計10箇所で行ったが、平成21年度の調査では10箇所中7箇所ではミクリの生育が確認され、特に施工後3年目を迎えた第2号、4号排水路のワンド底部では、ミクリの旺盛な成長と分布拡大が確認された（写真－7）。



図－5 第1号排水路の植生被度区分の割合
（左：施工後1年目、右：施工後2年目）



写真－7 移植後3年目のミクリの繁茂状況

（2）魚類の状況

魚類調査は排水路施工前の平成17～18年度と排水路施工後の平成19～21年度に実施しており、これらの結果を比較すると、生息種数については各排水路ともに施工後が施工前を上回り、順調な回復傾向が確認された（図－6）。

排水路施工後の生息魚種はほとんどが在来種であり大きな変化はないが、第1号、3号、4号排水路でワカサギ（キュウリウオ科）が確認されるようになった。これは排水路整備により水路内の群生植物が除去されたことで、天塩川下流域から進入しやすくなったためと考えられる。

生息密度は排水路によって回復状況にバラツキが見られ（図－7）、第1号、3号、4号排水路は概ね増加傾向にあるが、第2号排水路は明確な増加傾向が認められるまでには至っていない。

排水路整備区間別（写真－8、図－8）の結果をみると、第1号、2号、4号排水路では施工直後に沈砂池区間や繊維製簀マット区間で生息種数が多かったが、年数経過に伴い整備区間別の差が小さくなる傾向がみられた。

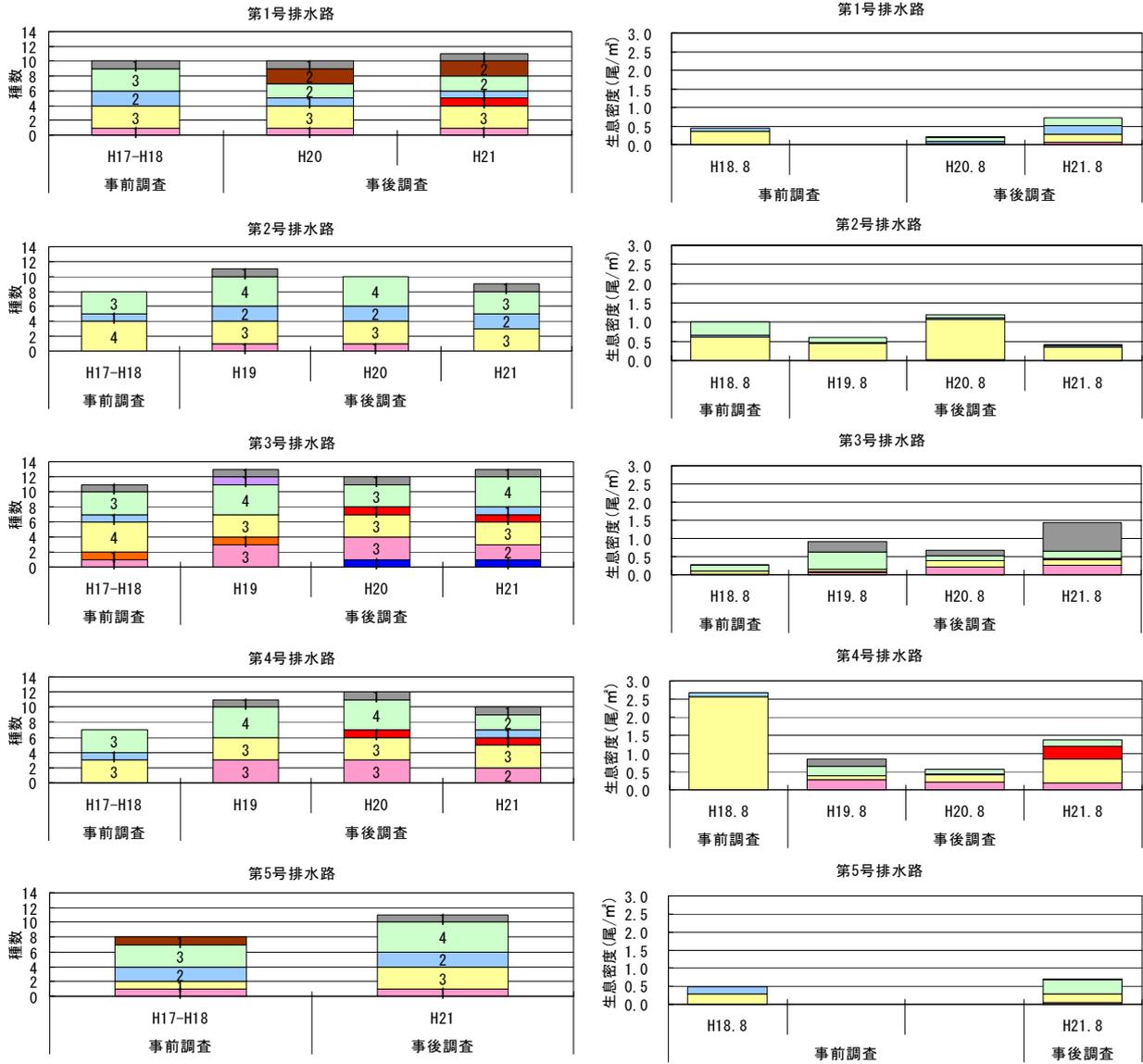


図-6 排水路施工前後の魚類生息種数 (左)

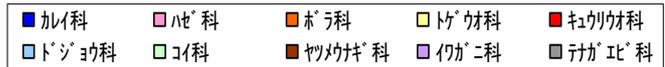


図-7 廃炉路施工前後の生息密度 (8月) (右)

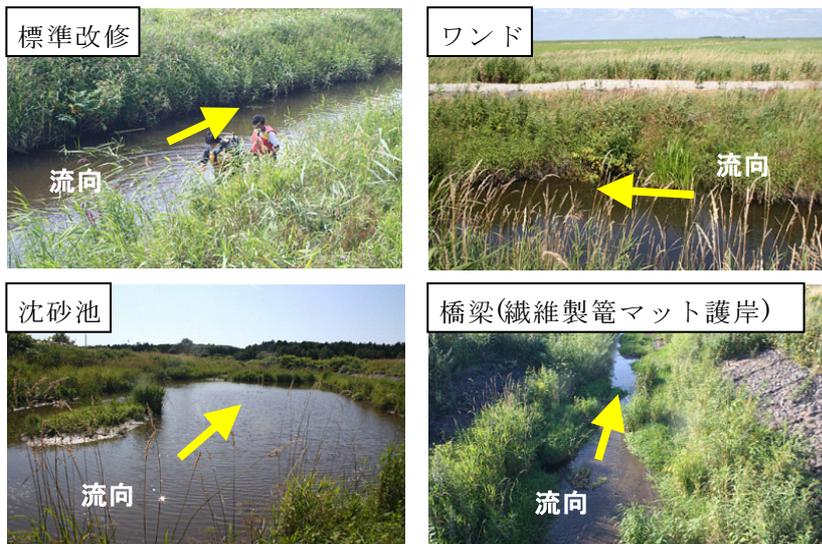


写真-8 排水路整備工法 別の状況



写真-9 調査での採捕魚類

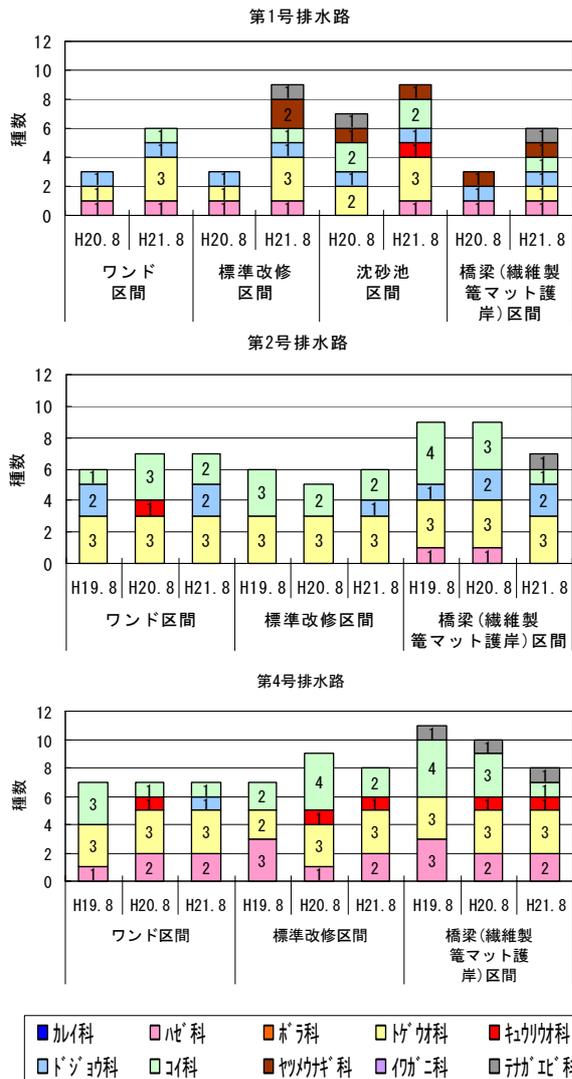


図-8 整備区間別生息種数の推移

(3) 水質の状況

水質調査は平成18年度と平成19年度に施工した圃場の暗渠管（各2圃場、全4圃場）のほか、第1号～第5号排水路（図-9）で実施し、農地保全施工後の Fe^{2+} 濃度の推移を確認した。

1) 圃場暗渠管の水質

平成18年度施工圃場、平成19年度施工圃場における暗渠排水の Fe^{2+} 濃度は、平均値がそれぞれ0.27～0.97mg/l、0.02～1.28mg/lとなった。これらは、泥炭や営農の影響を受けない地区上流端における Fe^{2+} 濃度の平均値0.46～1.57/mglを下回る値となっており、鉄分の流出が抑制された結果となった（図-10）。

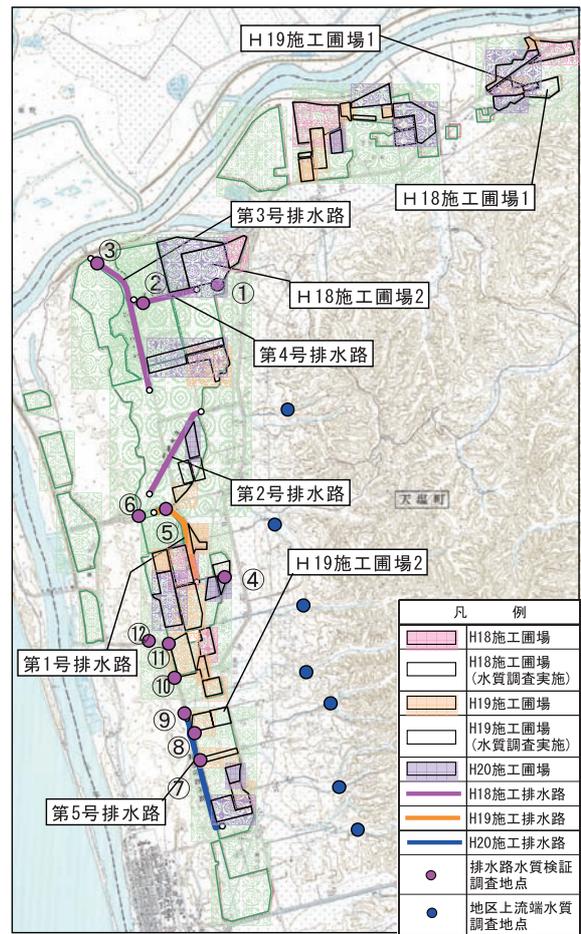


図-9 水質調査の位置図

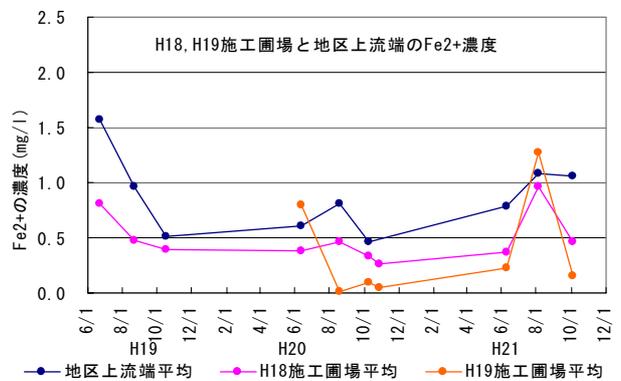


図-10 施工圃場と地区上流端の Fe^{2+} 濃度

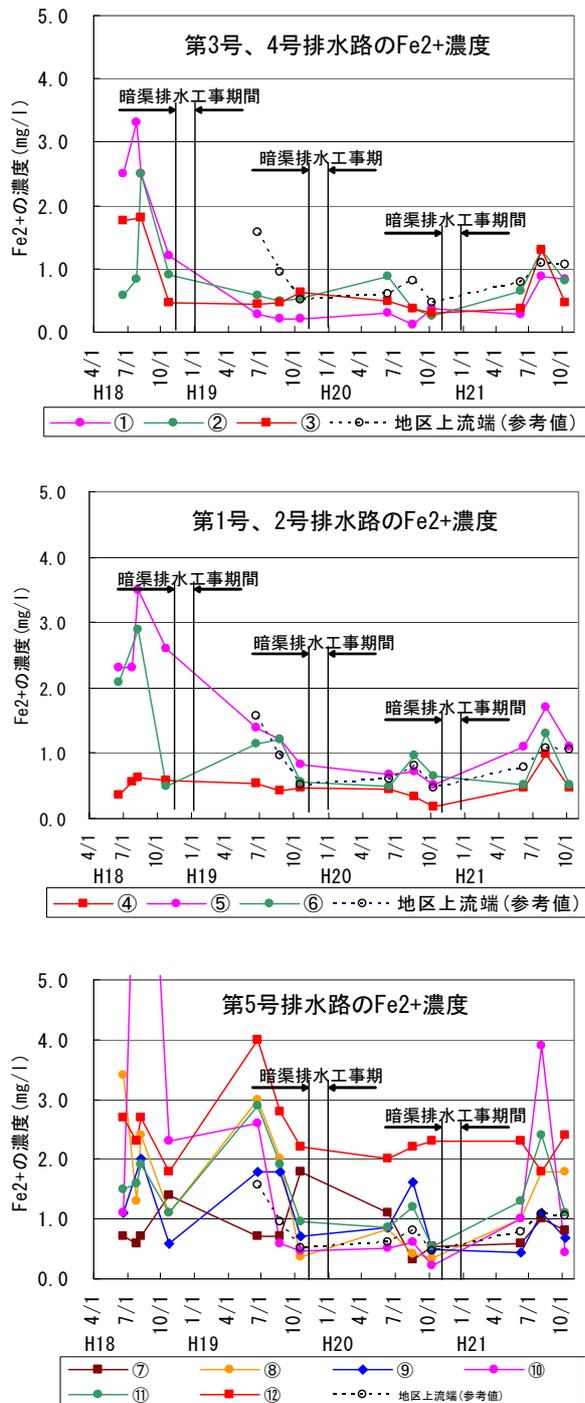
2) 排水路の水質

第3号、4号排水路における平成19年～21年の Fe^{2+} 濃度は0.27～1.30mg/lで推移しており、施工前が0.47～3.3mg/lであったことと比べると鉄分の流出が抑制された効果となった。

第1号、第2号排水路についても施工前の平成18年では Fe^{2+} 濃度が最大3.5mg/lであったのが流域圃場の暗渠排水整備の進捗に伴って濃度低下が認めら

れた。平成21年では⑤地点の Fe^{2+} 濃度が8月に一時的に1.7mg/lとなっているが、その後は1.1mg/lと低下している。

第5号排水路についても Fe^{2+} 濃度は⑩、⑪などの地点で一時的に2～4 mg/l程度に上昇することがあったが、全体的な傾向として暗渠施工前に比べ施工後は低く推移している（図-11）。



(①～⑫は図-9の地点番号)

図-11 第1～5号排水路の Fe^{2+} 濃度の推移

5. 環境配慮対策の効果

(1) 植物の保全効果

天然素材シートによる法面被覆工は、概ね全ての施工箇所においてクサヨシ群落やヨシ・イワノガリヤス群落などの高茎草本群落の侵入・定着が確認され、植生被度の面からも施工後2年目で顕著な回復がみられた。これらの結果から、天然素材シートによる法面被覆工は現況植生を早期に回復させる効果が高いことが確認できた。

ミクリの移植は、活着後、旺盛な成長がみられ、施工後3年目にはワンド全面を被覆する箇所も確認されており、対策の有効性が確認できた。

(2) 魚類の保全効果

魚類の生息種数は全ての排水路で順調な回復が認められ、生息密度についても一部を除いて回復傾向が認められた。排水路施工後に確認された魚種はほとんどが水際植生と緩流域を好む在来種であり、天然素材シートやワンドからの植生回復が魚類生息環境の回復・形成に寄与したものと考えられる。

整備工法区間別では、施工直後に沈砂池区間や繊維製籠マット護岸区間で生息種数が多くみられた排水路があった。これは、水際植生が回復するまで期間、沈砂池の深みや籠マットの空隙部が魚類の隠れ場として機能したためと考えられる。

今後は、各排水路ともに魚類の生息環境の回復や生息状況の安定が予想されるが、現時点では排水路によって回復傾向にバラツキがみられることや経過年数の少ない路線があることから、継続調査により経過確認を行う必要があると考えられる。

(3) 水質の保全効果

施工圃場からの暗渠排水の平均 Fe^{2+} 濃度は年間通じて地区上流端部の値を下回っており、石灰石を疎水材に用いた暗渠排水工の Fe^{2+} 流出抑制効果が確認できた。

また、第1号～5号排水路の結果では、暗渠排水の施工圃場を流域とする観測地点では総じて Fe^{2+} 濃

度の減少傾向が認められており、暗渠排水の整備範囲の拡大に伴い、さらに Fe^{2+} 流出が低減するものと考えられる。

今後は、 Fe^{2+} 流出抑制効果の継続性や農地保全工の整備進捗との関係について継続調査で明らかにしていく必要があると考える。

6. おわりに

排水路整備における環境配慮では、周辺植物及び水際植物の早期回復が重要であり、本地区のモニタリングでは、天然素材シートによる法面被覆工やワンドの設置が植生回復を促し、これに伴い魚類の生息も回復していく過程が明らかとなった。今後もモニタリングを通じて、各対策の効果や改良点等の抽出を行い、同種事業の計画設計に役立つデータの蓄積を図る必要があると考える。

また、石灰石を用いた鉄分の流出抑制は、泥炭地の排水整備において応用性のある事例と考える。今後は、モニタリングを通じて鉄分の流出抑制効果のデータ蓄積を行うとともに、他の材料との併用による効果向上やコスト縮減等の検討を重ね、さらに有用な技術とする必要があると考える。

最後に、本報の紹介にあたり、多大なご協力を頂いた留萌開発建設部天塩地域農業開発事業所には深く御礼を申し上げます次第である。

(株)ドーコン

雪を利用した農産物貯蔵システムの研究

川瀬 智久

1. はじめに

日本各地の降雪地帯には、天然の雪や氷といった自然冷熱エネルギーを利用した冷房・冷蔵施設が約120施設存在する。そのうち雪を利用した施設は、北海道内では美唄市、沼田町を代表に約50施設存在する。また、このうちの半数以上は農産物貯蔵用施設で、自然冷熱を活用した貯蔵方法が農作物の品質向上・鮮度維持などに効果的であるとされている。これらの自然冷熱を利用した施設は、電力を使用した場合よりランニングコストが低く、除雪費用・二酸化炭素排出量の削減効果も期待できる。一方で、冷熱備蓄用の大規模な雪氷保管庫が必要となり、施設建築に伴うイニシャルコストが割高になるため、一般的には普及に至っていないのが実情である。

本研究は、これらの自然冷熱エネルギーの利用技術を農産物貯蔵に低コストで導入することを目的とし、屋外での雪の保存技術、および保存した雪からの冷熱利用技術について、平成20年度から3カ年計

画にて実証試験を行っており、その結果について報告する。なお、本報文に係る研究は、農林水産省の「新たな農林水産政策を推進する実用技術開発事業」を活用した、「自然冷熱を活用した貯蔵農産物のブランド化と貯蔵システムの開発」というテーマの研究事業として実施しており、帯広畜産大学を中核機関として、北海道大学、日本データサービス株式会社、NPO北海道雪氷利用プロジェクト、NPO雪氷環境プロジェクトが共同で取り組んでいる。

2. 実証試験施設選定

既存の自然冷熱エネルギー利用施設では、冷熱源や冷熱供給方式が数種類採用されている。そこで、実証試験着手に当たって、これらのコスト比較を行い、本研究に最適な試験施設を選定した。

冷熱源および冷熱供給方式のコスト比較を表-1、表-2に示す。

表-1 冷熱源のコスト比較表

冷熱源の種類	雪		氷	凍土	電気冷蔵貯蔵庫
冷熱源 保存方法	貯雪庫方式	屋外雪堆積造成方式(雪山)	アイスシェルター方式等	ヒートパイプ方式等	電気冷蔵
イニシャルコスト	△ ・貯雪庫建設費 ・空調設備費	○ ・雪山造成費 ・空調設備費	△ ・貯氷庫建設費 ・貯氷コンテナ設置費 ・空調設備費	× ・施設建設費	△ ・電気冷蔵 ・加湿設備の設置費 ・空調設備費
ランニングコスト	○ ・送風機・照明等の電気代 ・雪投入費	○ ・送風機・照明等の電気代 ・雪投入費	○ ・送風機・照明等の電気代(自然製氷)	◎ なし	× ・冷蔵・加湿・空調・照明の電気代
導入事例数	104		18	3	—
◎：コスト最低、○：コスト低、△：コスト中、×：コスト高					

表-2 冷熱供給方式のコスト比較

冷熱供給方式	直接熱交換冷風循環方式 (空気式)	熱交換冷水循環方式 (冷水式)	自然対流方式
使用機器	送風機	ポンプ、FCU	特別な機器を用いない
イニシャルコスト	○	△	◎
ランニングコスト	○	○	◎
導入事例数	50	37	50

◎：コスト最低、○：コスト低、△：コスト中

本研究の実証試験施設に求められる条件は、イニシャルコストが低廉なことである。コスト比較結果から、試験施設の冷熱源には、貯氷庫、および貯雪庫建設費など大きな費用計上を要しない屋外雪堆積造成方式(雪山)が、冷熱供給方式にはイニシャルコストが低く、十勝の特産である馬鈴薯、長いもの貯蔵に適している高湿度の環境を維持できる空気式が妥当であると考えた。なお、自然対流方式は、特別な機器を用いていないためイニシャル・ランニングとも最も有利であるが、冷熱源と貯蔵庫が離れた地点の場合には冷熱供給が困難なことから、候補から除外した。

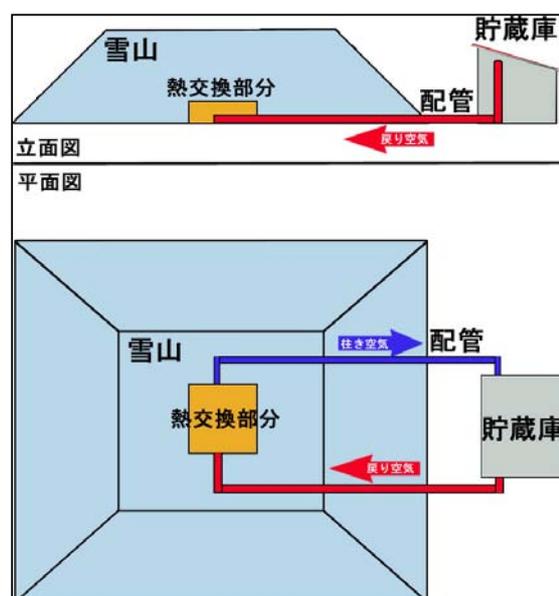


図-1 1年目施設のシステム概要図

3. 実証試験方法と試験結果

本研究では、雪を低コストで長期間保存するために屋外に雪山を造成し、そこから発生する冷熱を簡易的な配管方式で農産物貯蔵庫に供給することで建設コスト低減化について検討することとし、音更町に農産物貯蔵用を想定した実証試験施設を構築した。

3-1. 1年目試験施設概要

1年目試験では、冷熱を採取する熱交換部分の使用資材や構成を変えた試験施設を2基(システムA、B)構築し、冷熱回収性能などを比較した。両施設共通のシステム概要図を図-1に、施設全体の写真を図-2に示す。

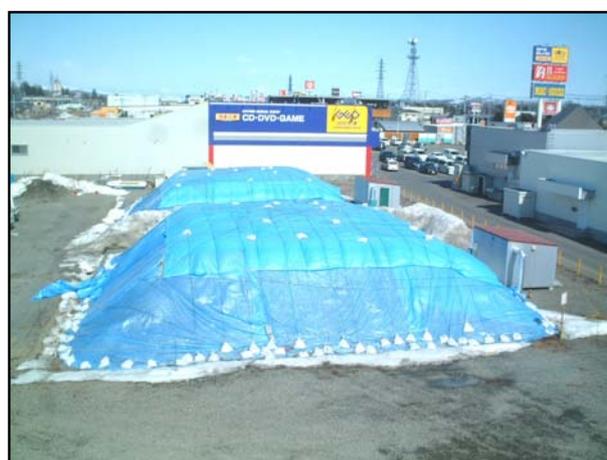


図-2 1年目施設全景

雪山は、約500m³の四角錐状台形を2基造成し、それらの表面を断熱加工した。断熱材は木材樹皮粉砕物であるバーク材を利用し厚さ200mmで被覆した。さらにその表面を、バーク材の飛散防止および雨水対策のためにブルーシートで被覆した。

また、それぞれの雪山の横に簡易プレハブを配置

し農産物貯蔵庫とした。貯蔵庫は、室内側に断熱加工を施し、材料は成形板状の押出法ポリスチレンフォーム保温板（厚さ50mm）を使用した。雪山と貯蔵庫は配管資材、およびダクトファンで接続しファンを稼働させることで、雪山の冷気を貯蔵庫に吸込み、貯蔵庫で暖められた冷気（暖気）を雪山に戻す空気循環式とした。貯蔵庫の平面図、断面図を図-3に示す。

(1) システムA

2基の施設うち、システムAは、熱交換部資材と

して農業用プラスチックコンテナ（以下、コンテナ）を70個利用し、雪山中心部に1段35個を2段にして逆さまに積上げて熱交換する空間とした。熱交換部と貯蔵庫の配管経路用資材は、排水用建設資材のU字トラフ、および直径200mmの塩ビ管を使用した。U字トラフは、地上に設置し、通常使用する場合とは逆さ置きすることでトンネルを形成した。なお、U字トラフの逆さ置きは、空気の流路となるため重要であるとともに、雪山の重量負荷、雪山造成時の重機作業負荷から流路を保護する目的がある。（図-4）

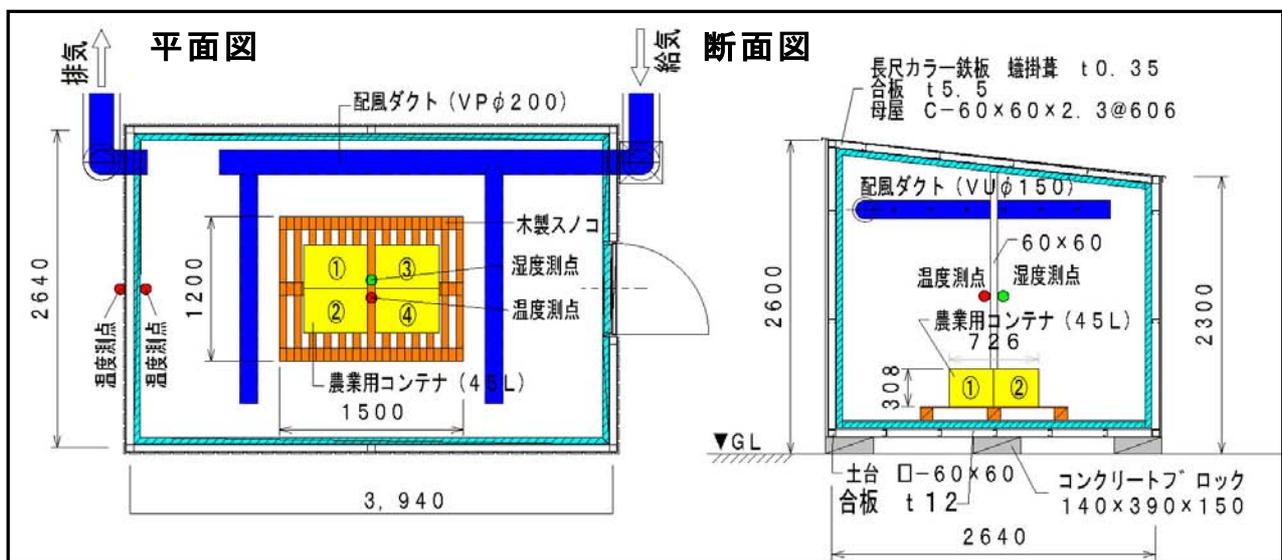


図-3 1年目施設の貯蔵庫詳細図

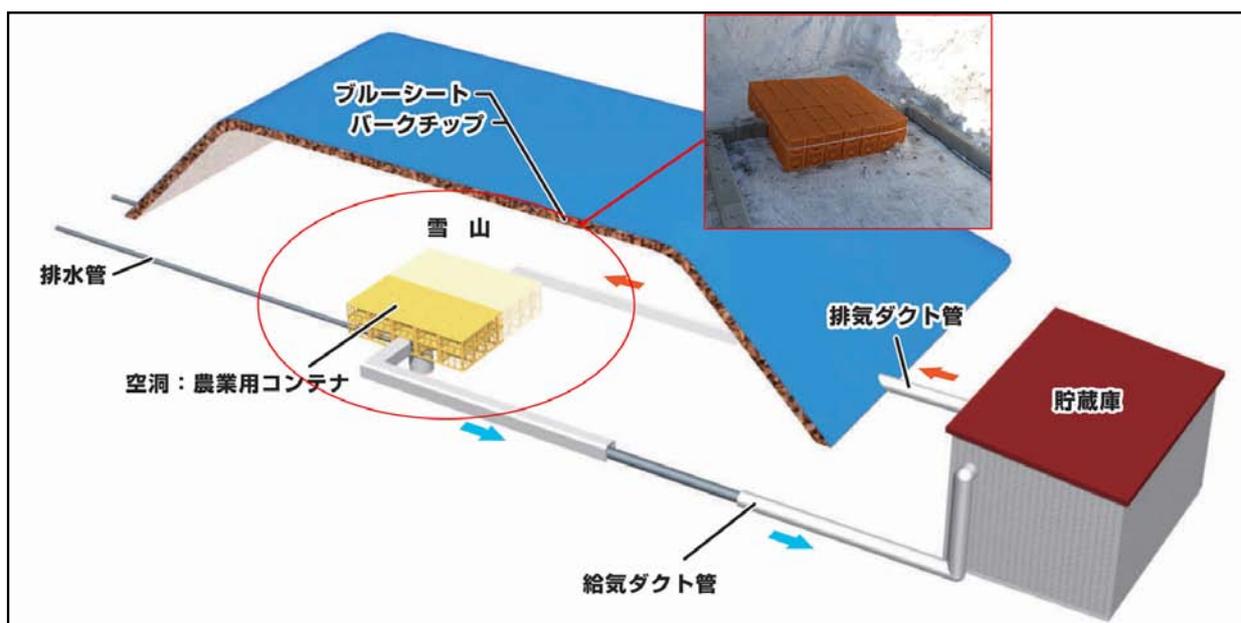


図-4 1年目施設のシステムA概要図

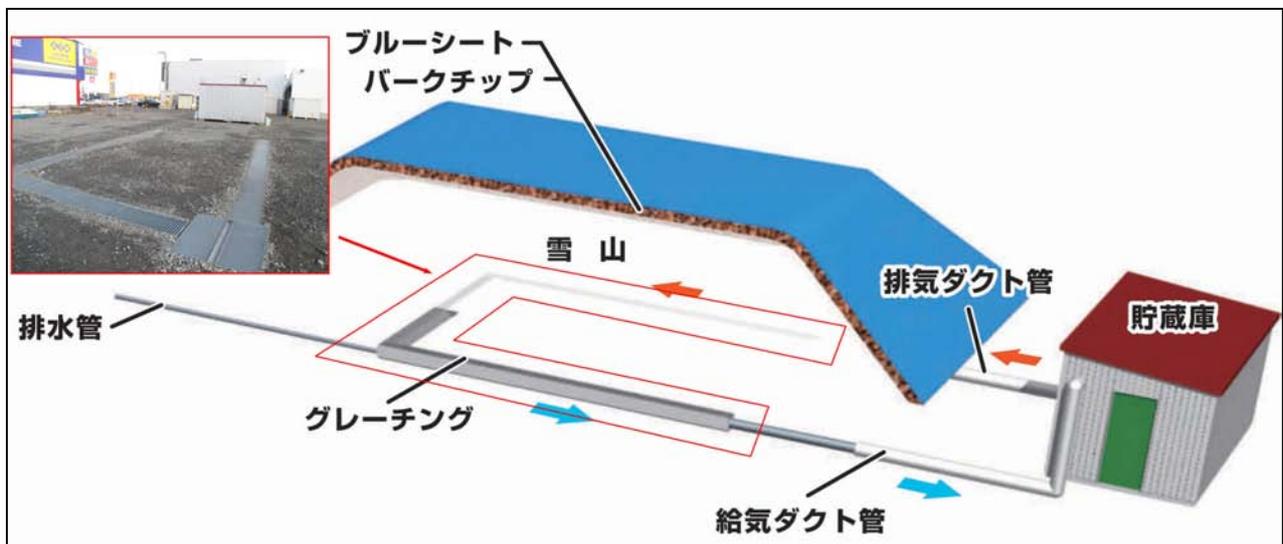
(2) システムB

システムBは、U字トラフを地中に埋込み、トラフの上面部分（地表面）はグレーチングにて蓋をして、トラフ内を通過する空気がグレーチング面で雪と熱交換するようにした。システムBは、システムAと比較するとグレーチングの資材費用、地中に埋設する作業費用などコストが高く、また、配管経路を容易に変更できない短所があるものの、雪山造成時の重機重量、および雪山重量の負荷による空気流路破損に対する懸念が少ない。（図－5）。なお、熱交換部分となるコンテナ上面（システムA）、およびグレーチング上面（システムB）は、雪山造成時に雪の圧迫・進入による空気流路遮断から保護する

ために、湿らせた雪で簡易的な蓋をして補強した。また、雪山標高0.5mごとに重機にて転圧し雪密度を高めた。試験施設の内容を表－3に示す。

3-2. 1年目実証試験概要

平成20年11月から試験施設の構築を開始した。翌平成21年1月末には雪山構築可能な量の積雪があり雪山造成を開始し、2月末に試験施設の構築が完了した。3月に試験運転を開始し、4月に貯蔵用農産物を搬入した。貯蔵用の農産物は、大豆・小豆・玄そば（システムA）、馬鈴薯・長いも（システムB）である。



図－5 1年目施設のシステムB概要図

表－3 1年目施設内容

項目	システムA	システムB
雪山規模・断熱	体積500m ³ 、バーク材厚さ200mm、ブルーシート	
配管方法	露出配管	埋設配管
配管材	通気・硬質塩化ビニル管（VU管）、 管径200mm、アルミ付保温筒	通気・硬質塩化ビニル管（VU管）、 管径200mm、アルミ付保温筒
断熱材	厚40mm	厚40mm
熱交換部分	農業資材用プラスチックコンテナ 地上設置（45L 70個）	コンクリート製U字トラフ+グレーチング 埋設（240型 長さ20.0m）
ダクトファン	管径200mm 単相100V65W 最大風量906m ³ /h （静音形キャビネットファン FY-20NCS3）風量調整ダンパー	

表－4 1年目施設の計測項目一覧

計測項目	計測位置・採取位置	測定機器名（メーカー名）
温度	貯蔵庫内、ダクト給気口、ダクト排気口、熱交換部、冷熱内部（雪山）、地中（雪山下）、地中（雪山以外）、外気、貯蔵庫外壁、貯蔵庫床下	データロガー：GL200A（グラフテック株式会社） 温度センサー：熱電対 湿度センサー：B-530（グラフテック株式会社） 温度・湿度センサー：HOBOPROV2 <U23-002>（オンセット社）
湿度	貯蔵庫内中央、ダクト給気口	
冷熱量	雪山体積	トータルステーション
粉じん	貯蔵庫内空気	デジタル粉塵計 LD-3C型（SIBATA社製）
融雪水質	雪山融雪排水	水質汚濁防止法における生活環境項目に係る排水基準がある15項目
風量	ダクト断面	Model8330（TSI社製）

試験運転時は、風量調整ダンパーの開度を変化させ、風量による貯蔵環境への影響を観測した。試験運転開始時から、両システムにおいて温度計測を各9箇所、および湿度計測を各1箇所実施し、10分毎データを計測機器に記録、熱損失特性・断熱性能・熱収支などを評価することとした。また、定期的な雪山体積変化測量・定点撮影、および貯蔵庫への冷気供給ダクト内の風量測定を実施し、雪山形状変化を観察するとともに、雪山からの供給冷熱量との相関性を推察した。その他に、融雪排水の成分分析・貯蔵庫内の粉塵測定を実施し、周辺環境、および貯蔵農作物への影響を推察した。計測項目一覧を表－4に示す。

3-3. 1年目試験結果

雪山造成直後の平成21年3月から3カ月後までの雪山の形状変化の様子を表－5に示す。

雪山形状は、バーク被覆厚みを合わせると、3月15日の時点で高さが約3.2～3.4m、体積約680～740m³であった。その後、45日後の4月30日には高さが約0.2m、体積が約100m³減少し、さらに40日後の6月9日には、高さが約0.3m、体積が約170m³減少した。なお、雪山形状は、全体がほぼ均一な形を維持したまま縮小し、設計段階で融雪要因として想定した「雪山表面での大気・地中への冷熱損失による融雪」による変化であると推察された。

さらに融雪要因として「熱交換部分での冷熱利用による融雪」も想定していたが、観測を続けるうちに、想定外の要因によるものと考えられる雪融解箇所が確認された。雪融解箇所の発見直後の参考写真などを図－6～9に示す。この雪融解箇所は、発見時に、既に雪山表面に開口部を形成し、開口部と熱交換部分の空洞とが繋がり、熱交換部分に外気を侵入させるバイパスのような空洞を形成していた。

表－5 1年目施設の雪山体積変化状況

項目		3月15日	4月30日	6月9日	減少量 (3月－6月)
雪山体積 (m ³)	システムA	744.0	659.2	472.3	271.7
	システムB	684.2	541.4	394.5	289.6
雪山平均高さ (m)	システムA	3.4	3.2	2.9	0.54
	システムB	3.2	3.0	2.6	0.65

なお、これらの雪融解はシステムAでは冷気循環配管の雪山貫通箇所、システムBでは融雪水排水管が地中埋設してある箇所が発生しており、システム構成要素の設置箇所において、局所的に熱伝動が高くなり雪融解が進行したことに起因すると考えられる。



図-6 雪融解箇所の発見直後の写真
(システムAの配管の雪山貫通箇所)



図-7 バイパス空洞の拡大後の写真
(システムAの配管の雪山貫通箇所)



図-8 雪融解箇所の発見直後の写真
(システムBの融雪排水用管が地中埋設されている箇所
バイパス空洞④)



図-9 バイパス空洞の拡大後の写真
(システムBの融雪排水用管が地中埋設されている箇所)

なお、これらのバイパス空洞が確認された後においても、貯蔵庫内の温湿度は大きな変化が無かったことから、農産物貯蔵、および各種計測はそのまま継続して実施した。その後、7月中旬にシステムBのみ貯蔵庫内室温上昇が見られたため貯蔵農作物をシステムAの貯蔵庫に移動した。7月31日までの日平均外気温度、貯蔵庫の室内日平均温湿度の推移を図-10に示す。

2基の試験施設の貯蔵環境は6月末までは、庫内日平均温度が5℃以下だった。また、日平均湿度は7月末まで常に70%を越えていた。

庫内室温、および外壁温度の測定結果から、平成21年4月1日から7月31日までの122日間で雪山からの供給冷熱量は、いずれのシステムも約2,300kwh (雪換算で40m³)であった。なお、冷熱量換算は、給気ダクト内の実測風量約400m³/h、貯蔵庫のダクト給気・排気口の冷風温度と外気の温度差0~20℃、貯蔵庫の構造体熱通過率0.65として算出した。

また、融雪排水の成分分析結果は、参考とした排水基準を満たしており、貯蔵庫内の粉塵濃度測定結果も、一般大気中の粉塵量と同等レベルであった。

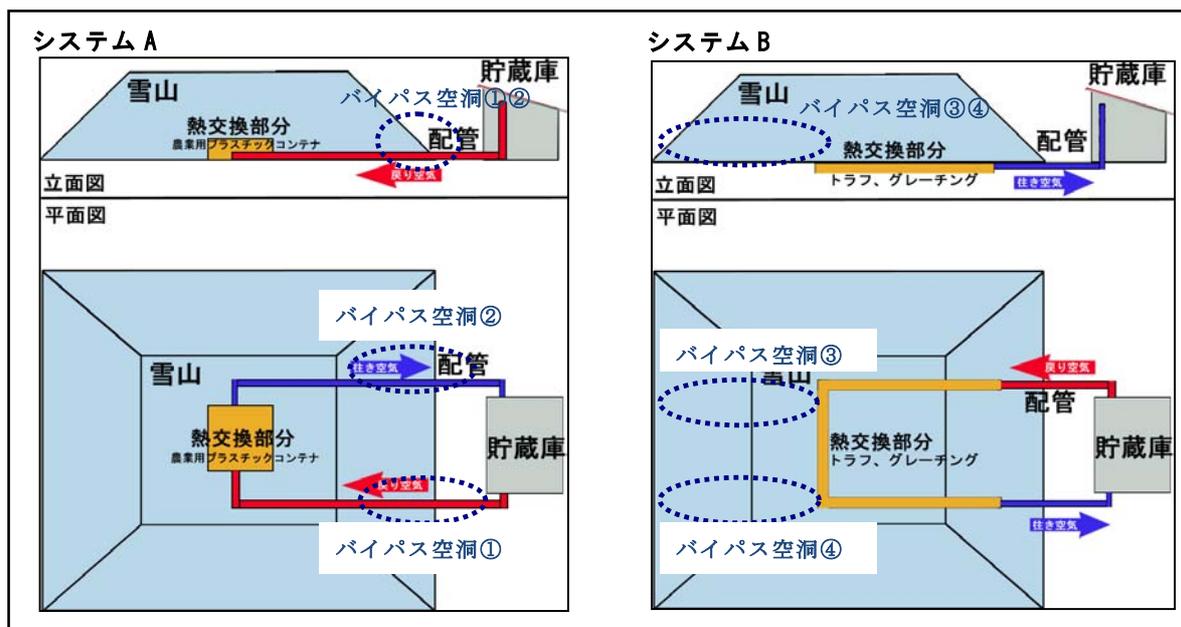


図-10 1年目施設のバイパス空洞発生位置

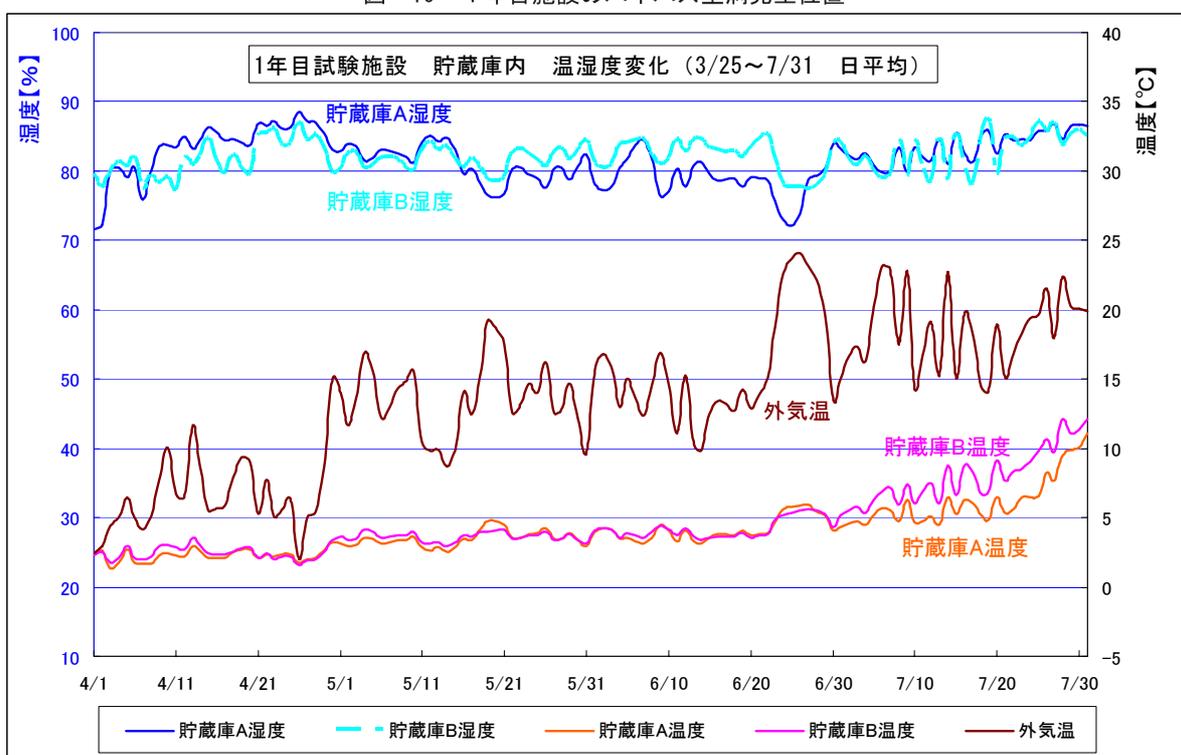


図-11 1年目施設の貯蔵庫内室内温湿度の推移

3-4. 2年目試験施設概要

1年目試験結果の供給冷熱量、および貯蔵庫の温湿度状況に明確な性能差が認められなかったため、2年目施設は、コスト面で有利なコンテナ型熱交換方式施設を1基構築した。試験施設の全景、システム概要図を図-12、図-13に示す。

また、外気温上昇時の影響を軽減するため冷気を

循環させる送風機を1台増設し、さらに熱交換部分のコンテナ個数を120個に増加させて、冷熱をより多く供給させ、1年目施設との冷熱供給量の違いについて検証することとした。なお、貯蔵庫の内部断熱材厚を倍の100mmにし熱損失を低減するようにした。



図-12 2年目施設全景

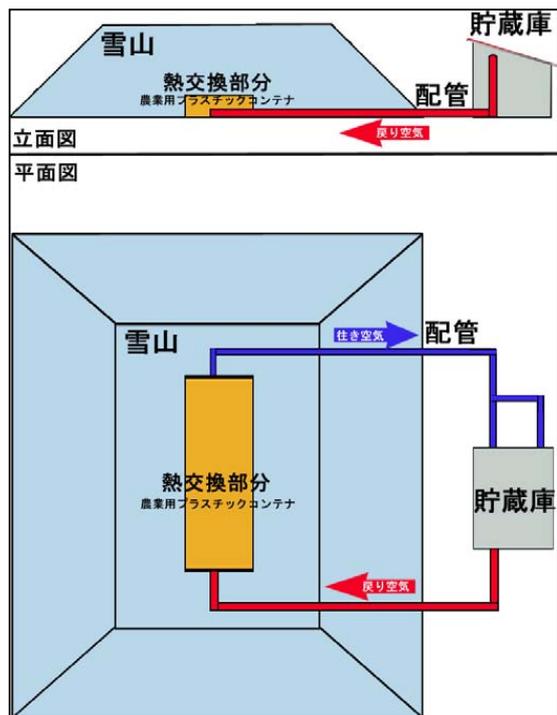


図-13 2年目施設のシステム概要図

なお、供給冷熱用配管の延長が伸び、配管での熱損失が増加することが予測されたため、配管断熱材を補強した。

2年目施設は、750m³の四角錐状台形の雪山を1基造成し、それらの表面を1年目と同様に表面加工した。貯蔵庫の平面図、断面図を図-10に示す。

3-5. 2年目実証試験概要

平成22年1月に2年目施設の雪山造成を開始した。1年目と同様に3月に試験運転を開始し、3月末に貯蔵用農産物を搬入した。貯蔵用の農産物も1年目と同様にした。試験運転時は、風量調整ダンパーの開度を変化させ、風量による貯蔵環境への影響を観測した。試験運転開始時から、システムにおいて温度計測を22箇所、および湿度計測を4箇所実施し、1時間毎データを計測機器に記録し、熱損失特性・断熱性能・熱収支などを評価することとした。また、1年目と同様に定期的な雪山体積変化測量・定点撮影、および貯蔵庫への冷氣供給ダクト内の風量測定を実施し、雪山形状変化を観察するとともに、雪山からの供給冷熱量との相関性を推察した。その他に、2年目は、雪山表面でのアルベド（物体表面が太陽光を反射する割合）、雪の含水率を計測した。

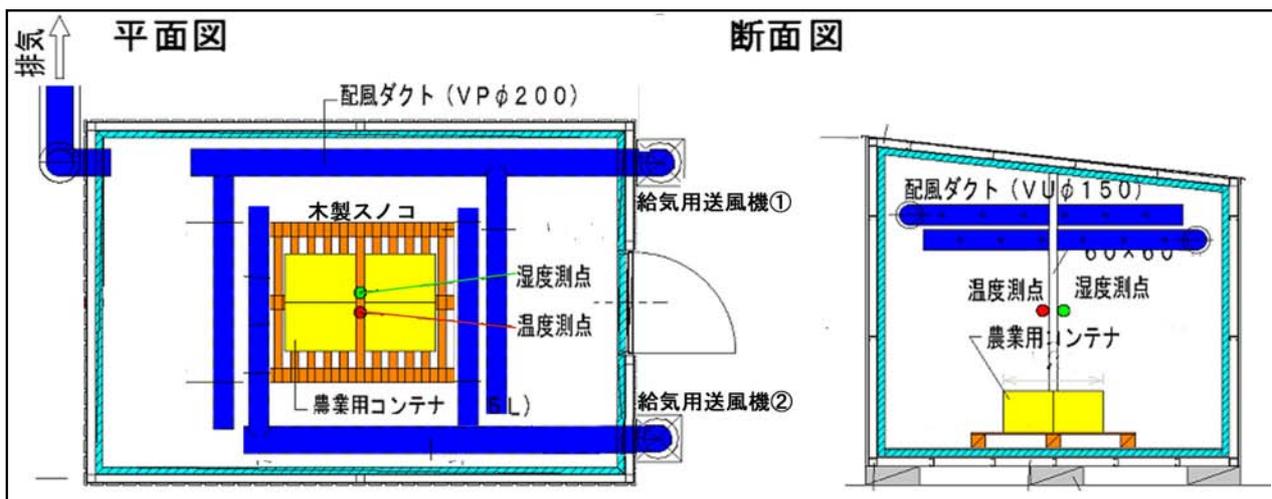


図-14 2年目施設の貯蔵庫詳細図

3-6. 2年目の試験結果

雪山造成直後の3月の雪山形状は、高さ約3.7m、体積が約740m³であった。約60日後には高さが約0.4m、体積が約100m³減少していた。1年目同様、5月中旬に雪山法面の配管貫通部にバイパス空洞形成が確認された。また、6月中旬には、雪山上面にバイパス空洞形成が確認された。その時点の高さは約3.0m、体積約400m³であった。バイパス空洞が確認された配管の雪山貫通箇所（バイパス空洞1、バイパス空洞2）、および雪山天井部（バイパス空洞3）の位置を図-15に示す。

なお、バイパス空洞が確認された後も、貯蔵庫室内の温湿度に変化が無かったことから、農産物貯蔵、および各種計測はそのまま継続して実施した。その後、7月初旬に貯蔵庫内室温が上昇したため、残存

している雪でバイパス空洞部を埋めて、約300m³の雪山を再成型した。2カ年分の試験施設の7月31日までの日平均外気温、貯蔵庫内日平均温湿度の推移を図-16に示す。2年目施設の貯蔵環境は6月上旬までは、庫内日平均温度が5℃以下だった。また、日平均湿度は送風機を2台稼働させた5月上旬以降7月末まで約85%を越えて安定していた。貯蔵庫の室温、および外壁温度の測定結果から、平成22年3月25日から7月31日までの129日間で雪山からの供給冷熱量は約5,500kwh（雪換算で約98m³）であった。なお、冷熱量換算は、給気ダクト内の実測風量約520m³/h、貯蔵庫のダクト給気・排気口の冷風温度と外気の温度差0～20℃、貯蔵庫の構造体熱通過率0.65として算出した。

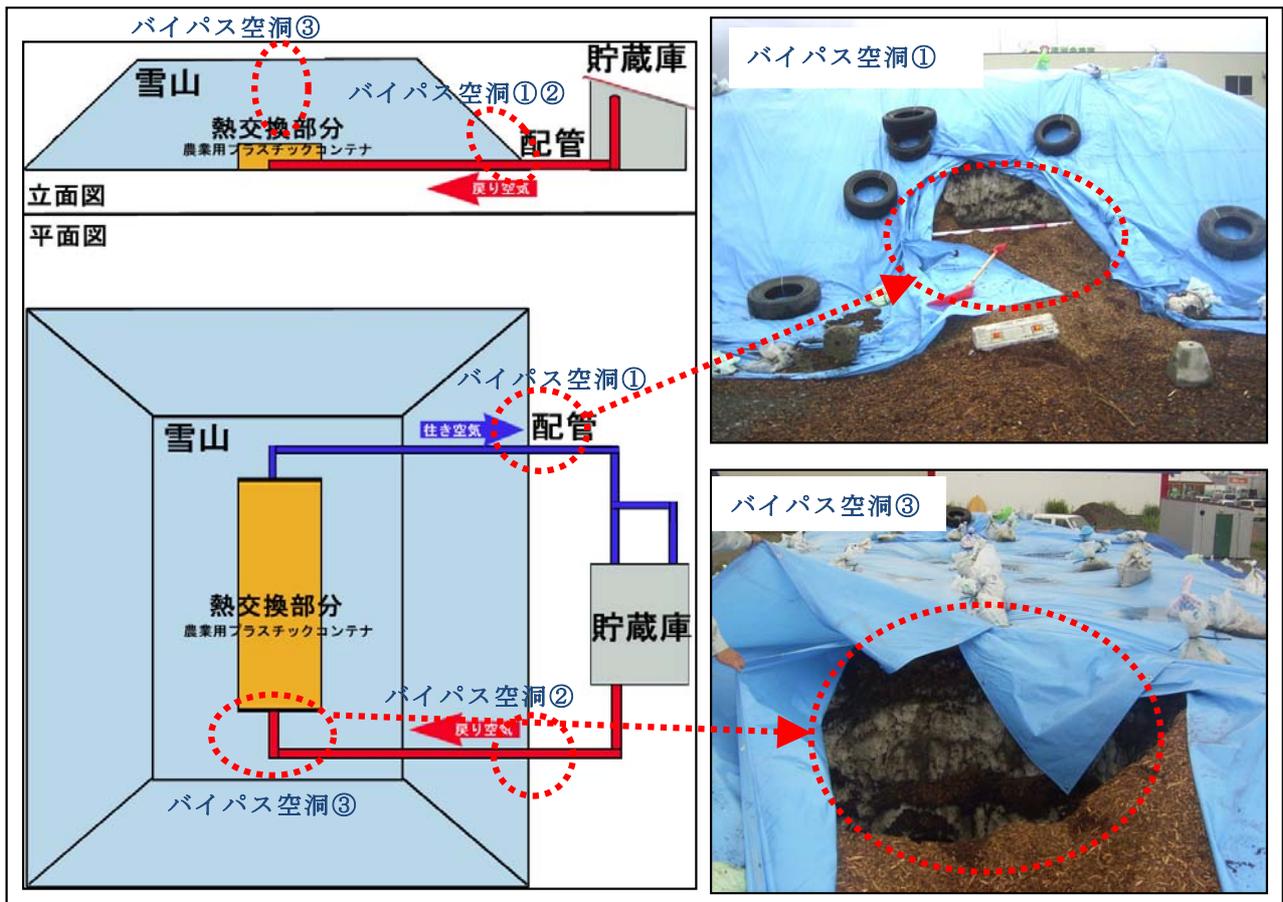


図-15 2年目施設のバイパス空洞発生位置、写真

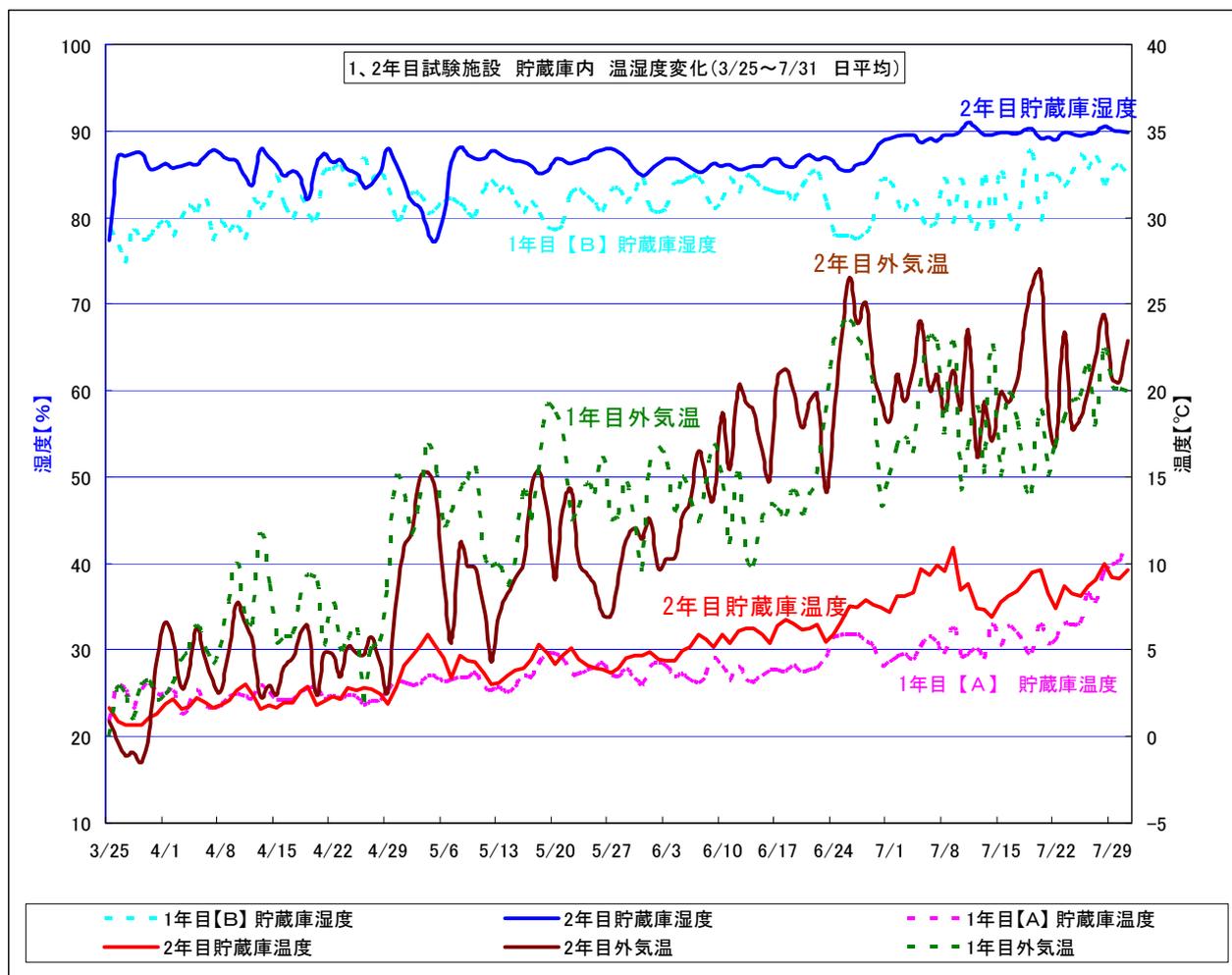


図-16 1、2年目施設の貯蔵庫内室内温湿度の推移

4. 考察および課題

4-1. 貯蔵庫内温湿度

1年目施設の実験結果を踏まえて、2年目施設では、さらに高湿度で低温度な貯蔵環境を維持することを目標に実験を行った。図-16に示したグラフによると1年目施設の貯蔵庫内湿度は、約80%を超えている時期が多いものの変動が激しい、一方で、2年目施設の貯蔵庫内湿度は、4月の外気温度が低い時期、および送風機を2台同時稼働した5月初旬以降は85%以上の水準で安定した。これらの結果を詳細に整理するため各施設貯蔵庫内の月平均温湿度を図-17に示した。

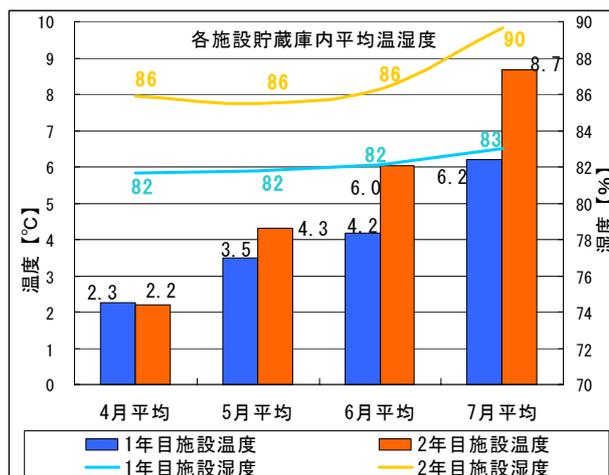


図-17 施設貯蔵庫内の月平均温湿度

図-17に整理した結果、運転開始直後の4月の平均湿度から7月の平均湿度まで常に2年目の湿度が高く推移した。この要因として考えられるのは、2年目施設は熱交換部分の容積を増加させたことともなって冷気中への加湿空間が増大したことと、送風量増加にもなって熱交換部分での水分蒸発量が増大したことなどが起因していると考えられる。したがって、貯蔵環境に高い湿度を必要とする場合は、熱交換部分の容積、および風量を増大させるなどの方法が有効であることが確認できた。

また、図-16、17から、外気温がほぼ変わらないにもかかわらず2年目施設では5月以降の外気温上昇に伴って、貯蔵庫内温度が、1年目施設に比べて約2℃高く推移した。この要因としては、2年目施設の配管経路が約7m増加したため、この経路における熱損失が増大していたことが起因する可能性が考えられた。そこで、1年目と2年目における冷熱経路の各地点平均温度（3月25日～7月31日）を整理した。（図-14）

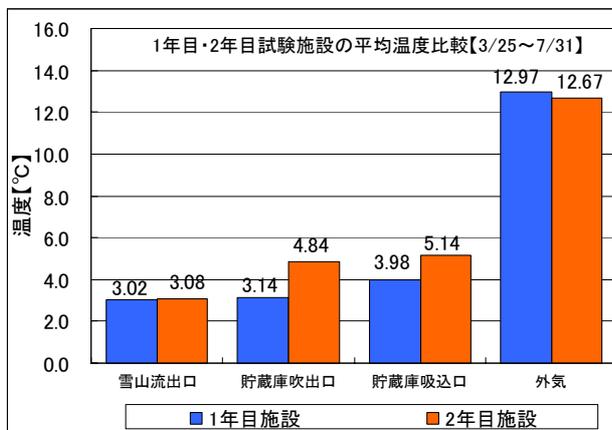


図-18 1年目と2年目における冷熱経路の各地点平均温度（3月25日～7月31日）

その結果「雪山流出口」と「貯蔵庫吹出口」の温度差は、1年目施設が約0.1℃だったのに対し、2年目施設は約1.8℃となっており、この間の熱損失が、2年目に増大したことが明らかである。2年目施設は、配管経路延長に伴い1年目施設での配管用保温材厚み40mm対して、保温材を2重に巻き80mmの保温材を施工し、さらにパークチップを厚み約100

mm被せた。しかし、比面積の大きい管路では、熱損失の抑制が充分でなかったことから、実際の施設を構築する際は、できるだけ配管経路を短縮させるなどの配慮が必要である。

また、貯蔵庫内温度上昇である「貯蔵庫吹出口」から「貯蔵庫吸込口」間の温度上昇が、1年目は約0.8℃であったのに対し、2年目は0.3℃だった。このことから、貯蔵庫内部の断熱補強は効果的だったことが確認できた。なお、貯蔵庫内の断熱補強により2年目は1日平均で約3.2kwh（雪換算約35kg）の冷熱損失を削減できたものの、配管経路で約9.2kwh（雪換算約99kg）の冷熱損失が増加し、1年目と比べるとトータルで約5.9kwh（雪換算約64kg）の冷熱損失が増大したと考えられる。

また、農作物貯蔵に最適な温度は、馬鈴薯で2～4℃、湿度80～90%とされており、1年目施設においては、いずれの施設でも6月末までほぼ最適な貯蔵環境を維持可能であった。また、2年目施設では、貯蔵庫内温度約10℃以下、湿度85%以上の貯蔵環境であれば7月末まで維持できることが確認できた。

4-2. 雪山のバイパス空洞発生要因

2カ年の試験結果から、いずれの雪山にもバイパス空洞が発生した。その要因としては、以下の3つが考えられる。（図-19）

- 要因① 空気循環用配管と雪山の接する箇所の断熱不足。
- 要因② 融雪水排水管出口から外気が雪山内に入。
- 要因③ 雪山頂上面に溜まった雨水による集熱作用。

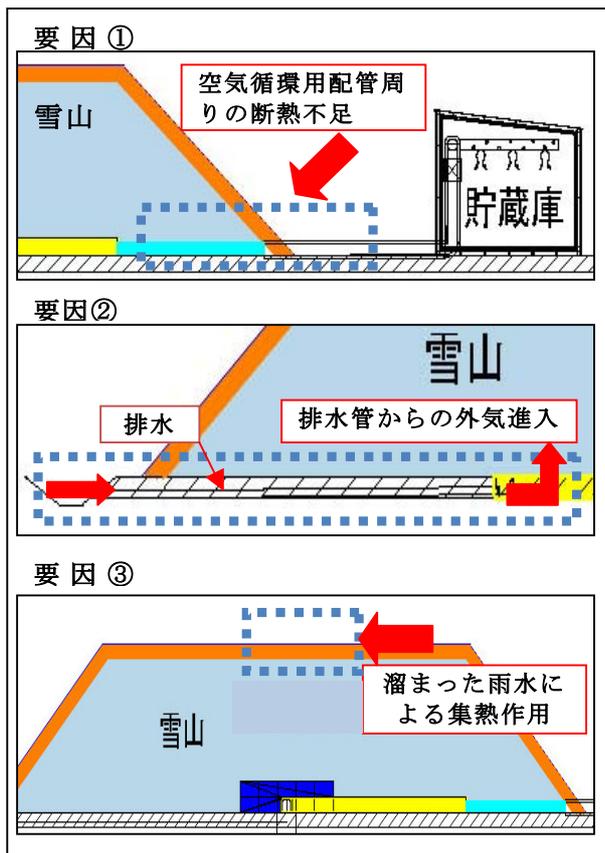


図-19 雪山のバイパス空洞発生要因

このうち要因①については、バイパス空洞発生対策として、2年目施設の配管に十分な断熱施工したものの、時間経過とともにバイパス空洞が発生した。したがって、この部分のバイパス空洞発生を防止または抑制するには、雪山表面の穴発生後に定期的に雪やパークを充填する等の補修を行うか、空気循環用配管を地中に埋設し、空気循環用配管と雪山を直接接触させないようにする方法が考えられる。要因②については、雪山施工段階で融雪水排水管にトラップを設ける等の対策でバイパス空洞発生を防止できる。要因③については、雪山にシートを被せる場合は、雨水は排水するなど定期的なメンテナンスが必要であると考えられる。

5. 雪山の供給冷熱量および熱収支

雪山からの供給冷熱量は、1年目施設で約2,300 kWh、2年目施設で約5,500 kWhであり、雪の融解潜熱のみ利用したとして雪換算するとそれぞれ約40

m³、約98m³であった。これは当初造成した雪山の約10%の雪を冷熱として利用できたことになる。そのうち約65%の冷熱が、貯蔵庫外壁熱通過や貯蔵農産物呼吸熱等として利用され、約35%が配管経路等で損失したと考えられる。なお、1年目施設の雪のうち1割の約50m³が平成21年12月まで残存し、2年目施設の雪山にも再利用できた。

6. 今後の課題

本研究施設では、雪山にバイパス空洞が発生し、雪の融解が早まった。バイパス空洞発生要因のうち、要因①、③の場合は、雪山に対する定期的なメンテナンスを要し、それにともなって発生するランニングコストを抑制する方法を検討する必要がある。

また、貯蔵農産物の種類によって、「高い湿度を望まない」、「貯蔵適温が10~20℃である」、「貯蔵期間が長く、低温貯蔵による鮮度保持・品質向上など付加価値がほしい」など、様々な貯蔵上の条件があり、その場合、「電気式冷蔵設備の併用」、「冷水式の採用」など、貯蔵農産物に応じた雪山貯蔵方式の導入方法があることから、それらに応じた貯蔵施設設計手法の確立が必要である。

本研究結果からもわかるように、冷熱として利用された雪は、雪山の10%程度であり、残りの90%程度の冷熱エネルギーは損失として大気中や地熱に放出された。この損失量は雪山の表面積に比例すると考えられるため、2乗3乗則（体積に対する表面積の割合は、体積が大きくなるほど小さくなる法則）の理論からも分るように、雪山をより大規模にすることで冷熱の利用効率が高まると考えられる。このように、スケールメリットが大きいことが本研究施設の特徴の1つとして挙げられる。このことから、今後の課題の1つとして、実際の大規模貯蔵倉庫など稼働施設において雪山を導入した場合のコスト評価も必要と考えられる。

(榎ズコーシャ)

参考文献

- (1) 北海道経済産業局：Cool Energy4（雪氷熱エネルギー活用事例集4）、2008. 4.
- (2) 国土交通省 大臣官房官庁営繕部 設備・環境課：官庁施設における雪冷房システム計画指針、2008. 7
- (3) 本間弘達、館下誠、川本周朗、媚山政良、金子幸江、新家憲：トラフを利用した風洞式雪山空気冷房の実験報告、2008. 11.

報 文 集 第22号

平成22年 9月30日

編 集 (社)北海道土地改良設計技術協会

広報部会 明田川洪志・松崎 吉昭・館野 健悦

夏伐 一夫・林 嘉章・小澤 榮一

矢野 正廣・川尻 智之・古田 彰

発 行 (社)北海道土地改良設計技術協会

〒060-0807 札幌市北区北7条西6丁目NDビル8階

電 話 (011)726-6038 F A X (011)717-6111

印刷 (株)三誠社 電話 (011)622-9211



●表紙写真●

第24回「豊かな農村づくり」写真展
北の農村フォトコンテスト応募作品

「用水路の釣り人」

—北斗市—

小野 隆司 氏 作品

A E C A

HOKKAIDO

Agricultural Engineering Consultants Association