

3-3. パイプライン等の活用

【当該技術の機能】

パイプラインは、既設管を埋設して造成する圧力管路によって農業用水を送配水する水路組織であり、開水路に比べて、上下流の取水の優劣が軽減できる、つぶれ地が少なく、済む、用水量が全体として節約できる、等の利点があります。

【上記機能を用いた気候変動適応への活用】

パイプラインのほか、トンネルや蓋がけの水路は、日射や気温の影響を受けにくいことから、取水した冷涼な用水を送水することで、気温上昇時の高温障害対策として活用できる可能性があります。

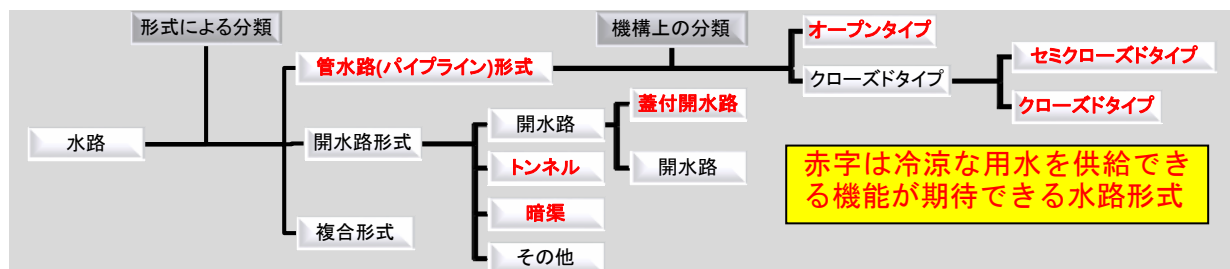
【解説】

3-3-1. 技術等の本来の機能の概要

(1) 農業用水路の種類

農業用水路の種類を、図 3-3-1 に示します。形式から分類すると、パイプライン形式、開水路形式、複合形式に分けられます。

冷涼な用水を送水できる水路は、水面が日射や気温の影響を受けにくい構造であることが条件であり、パイプライン形式のほか、開水路形式の蓋付開水路、トンネル、暗渠でも同様の機能が期待されます。



（「用排水路設計指針 北海道農政部 平成 27 年 7 月」より作成）

図 3-3-1 農業用水路の種類

(2) パイプラインの特徴

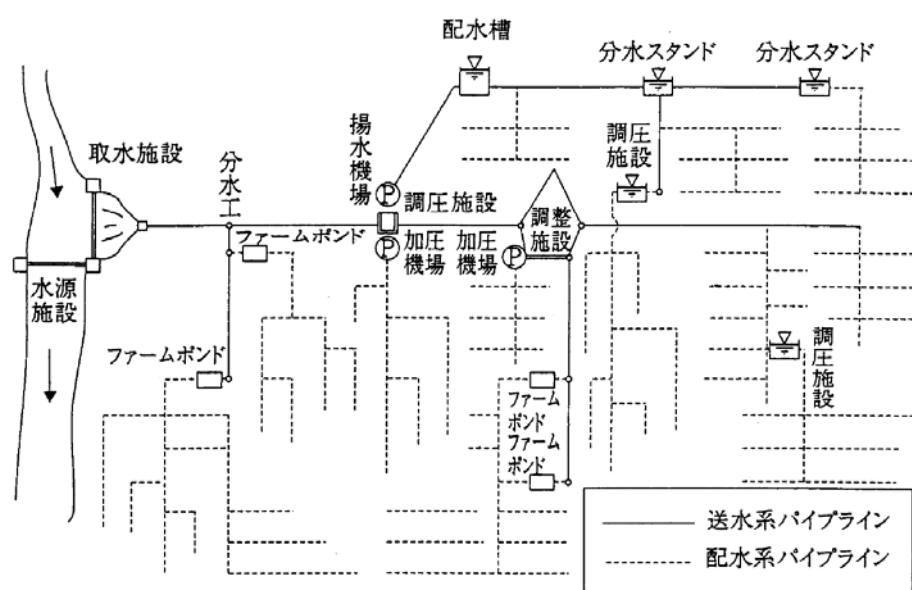
パイプラインは、水源から管路で送水を行うことから、①ポンプや水源と利用地点の高低差で水圧がかかっているため、任意に用水を利用することができること、②開水路に比べ複雑な地形での路線設定が可能になること、③適切な水利用方式を組み合わせることにより無効放流を少なくできる(用水量が全体として節約できる)ことが特徴です。また、地下埋設区間が多くなることから、④水路用地の節約、⑤農作業機械の運行が容易、⑥汚濁水の流入防止、などの利点があります¹⁰⁾。

(3)パイプラインの種類

パイプラインの配置からは、送水系パイプラインと配水系パイプラインに分類されます(図 3-3-2 参照)。

○送水系パイプライン:水源から幹線及び支線水路を通じ調整施設、調圧施設又は分水工まで送水

○配水系パイプライン:送水系パイプラインの調整施設、調圧施設、分水工もしくは水源からほ場内配管によって末端給水栓まで配水。



(出典:「設計基準「パイプライン」技術書」平成21年3月)

図 3-3-2 パイプラインの配置から見た分類



パイプライン

末端給水栓

図 3-3-3 パイプライン及び給水栓の例

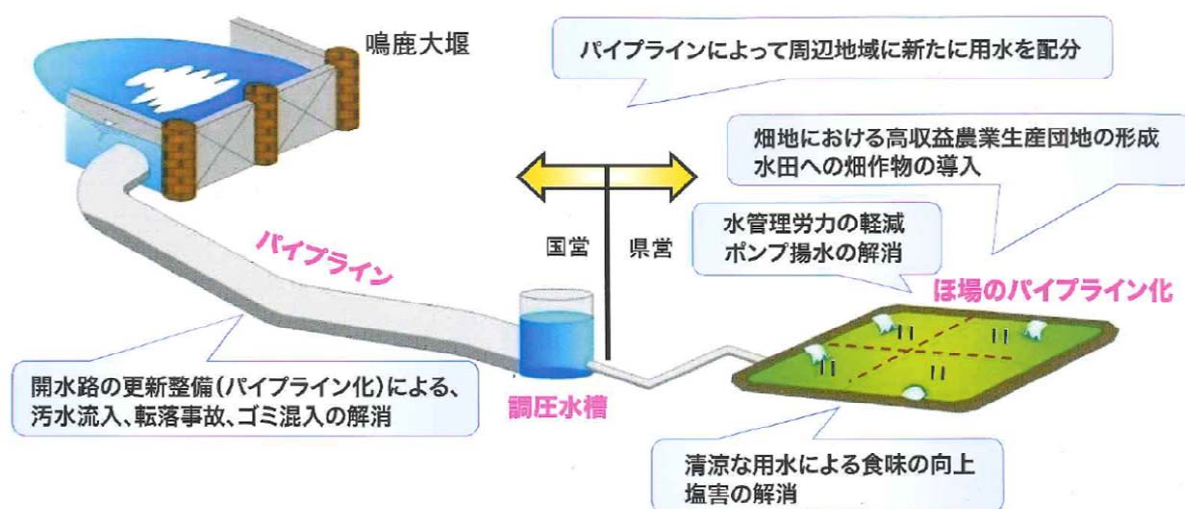


図 3-3-4 九頭竜川下流地区のパイプラインシステムとその効果

3-3-2. 気候変動に対する適応技術としての活用

パイプラインや蓋掛け開水路など、日光が直接水面に当たらない形式の水路(以下、「パイプライン等水路」という)では、送水過程における水温上昇を回避できることから、河川上流やダム貯水池の冷涼な用水を、冷涼なまま水路末端まで供給することが可能です(この機能を検証した調査事例を、図 3-3-5 に示します)。

このようなパイプライン等水路の冷涼用水供給機能に着目し、パイプライン等水路の用水供給先における高温障害防止対策としての活用を図るものです。

<パイプライン等水路が夏季に冷涼な用水を供給できる機能の検証>

○開水路は、水源からの送水距離に応じて水温が上昇し、水源との水温差が拡大する傾向であるのに対し、パイプライン等水路は送水距離にかかわらず水源と水路末端の水温が同程度である。

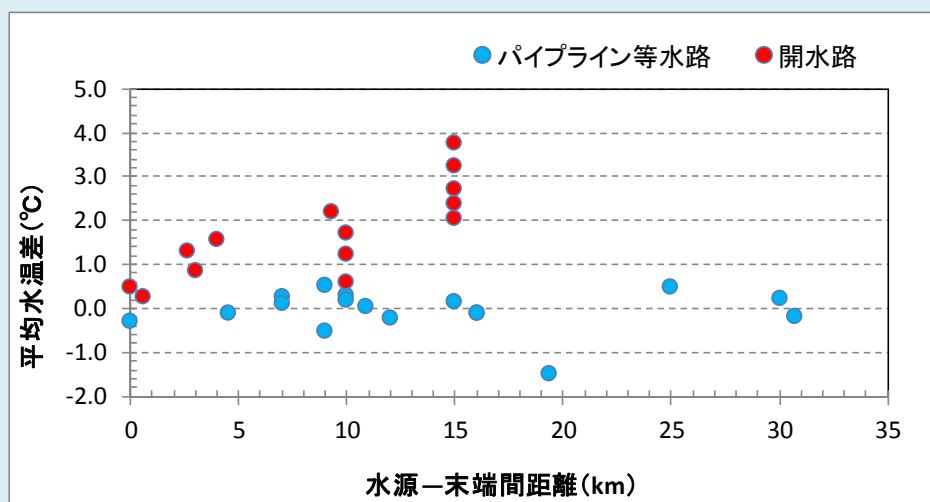


図 3-3-5 送水距離と平均水温差

農林水産省農村振興局調査

3-3-3. 具体的な活用と効果

(1) 気温の上昇に伴う水稻の高温障害への適応

夏季の高温傾向によって、白未熟粒の増加など水稻の高温障害が増加しています。これに対して、農研機構農村工学研究部門の調査では、農業農村整備事業により用水路をパイプライン化することで、以下の効果が確認されています(参考6参照)。

- ①河川取水口から遠く離れた地点でも、パイプラインを流れる用水の温度はほとんど上昇しない。
- ②末端ほ場までパイプライン整備が完了した集落で収穫された米は、気温の影響を受けず、未完成の集落に比べて、1等米比率が高い傾向。

この結果を踏まえ、パイプライン等水路で送水されている地区と開水路で送水されている地区の水稻の品質について広域的に調査を行ったところ、整粒比率及び白未熟粒率は、パイプライン等水路で供給されている地区の方が良好であるという結果が得られました(表 3-3-1 及び図 3-3-6 参照)。

表 3-3-1 送水システムの違いによる水稻の品質及び水温の比較

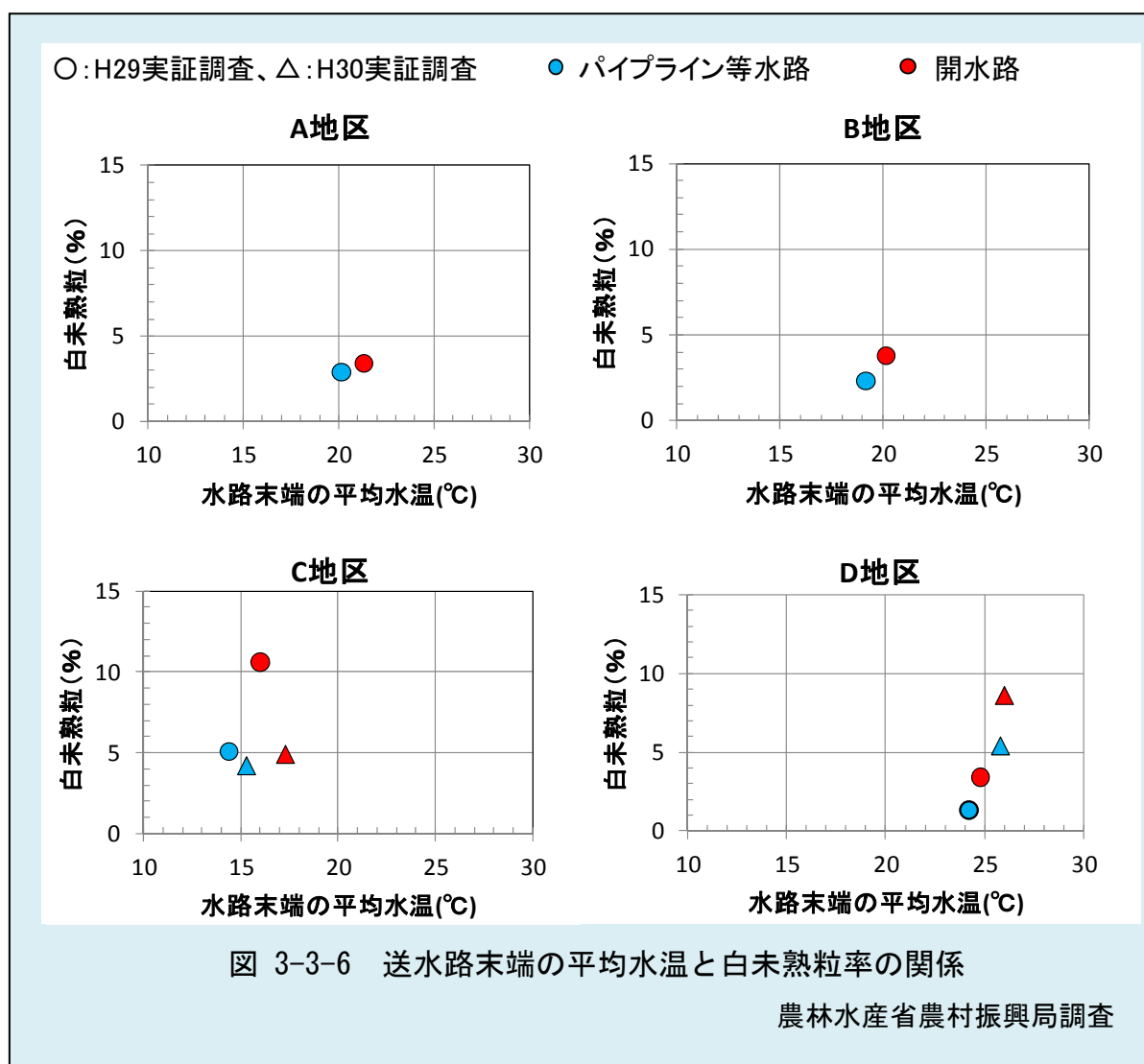
- ・ 実証区：パイプライン等水路で送水されている地区
- ・ 対照区：開水路で送水されている地区
- ・ △は実証区>対照区、▽は実証区<対照区であり、数値は差分を示す。

地区	調査年度	区分	末端平均水温 (℃)	整粒比率 (%)	白未熟粒率 (%)
A	平成29年度	実証区	20.1(▽1.2)	83.9(△1.8)	2.9(▽0.5)
		対照区	21.3	82.1	3.4
B	平成29年度	実証区	19.2(▽1.0)	88.3(△1.2)	2.3(▽1.5)
		対照区	20.2	87.1	3.8
C	平成29年度	実証区	14.5(▽1.5)	74.6(△14.1)	4.3(▽6.3)
		対照区	16.0	60.5	10.6
	平成30年度	実証区	15.3(▽2.0)	61.7(△3.2)	4.2(▽0.7)
		対照区	17.3	58.5	4.9
D	平成29年度	実証区	24.2(▽0.6)	87.6(△4.0)	1.3(▽2.1)
		対照区	24.8	83.6	3.4
	平成30年度	実証区	25.8(▽0.2)	90.4(△2.8)	5.4(▽3.2)
		対照区	26.0	87.6	8.6

※末端の平均水温：出穂後 20 日間における日平均水温の期間平均値。ただし、出穂日が水温測定開始前の場合の期間は水温測定開始日から出穂後 20 日目まで。

※実証区、対照区とも同一水源であり、栽培条件が同程度の地区を抽出。

農林水産省農村振興局調査



このことから、既にパイプライン等水路が整備されている地区においては、パイプライン等による配水が水稻の高温障害の回避又は低減に寄与している可能性があります。

また、水源となるダム貯水池に選択取水設備が設置されている場合には、水温が低い水深から取水することで、表層取水と比較して水温が低い冷涼な水温の水を供給できます。(参照: 3-4.ダム貯水池等の選択取水設備の活用)

(参考6) パイプライン用水路の水温分布と品質向上効果

研究のポイント

国営農業水利事業で整備されたパイプライン用水路を対象に、河川取水口から水路内を流れている用水の温度変化を調べ、未整備の開水路の水温と比較しました。その結果、パイプライン用水路では、夏季に冷涼な用水を末端まで供給でき、収穫した米の品質も高くなりました。

研究の背景

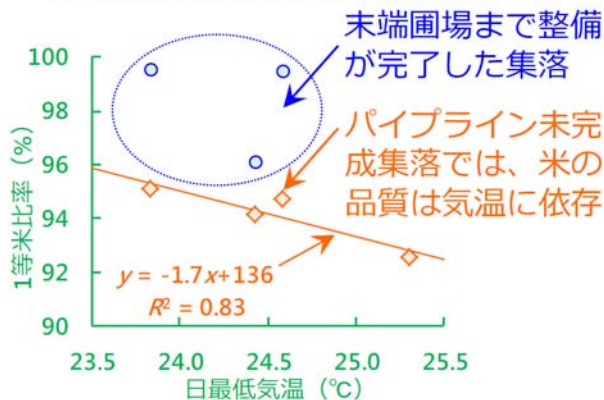
- 近年、気候変動の影響と思われる、夏季の高温傾向によって、稲の高温登熟障害が増加しています。
- 稲の高温登熟障害の発生を防ぐ方法の一つに、冷たい水を圃場に供給することですが、下流域の平野部では冷たい水を確保することが困難です。

事業効果

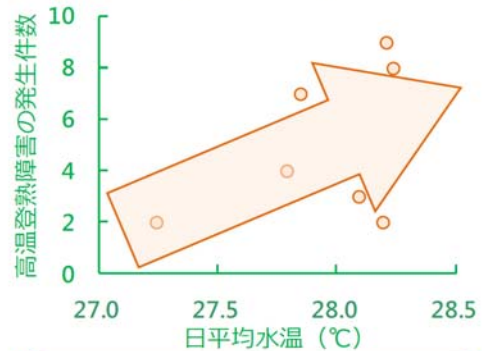
農業農村整備事業により、用水路をパイプライン化することで、以下の効果が確認されました。

- 河川取水口から遠く離れた地点でも、パイプラインを流れる用水の温度はほとんど上昇しません。
- 末端圃場までパイプライン整備が完了した集落で収穫された米は、気温の影響を受けず、未完成の集落に比べて、1等米比率が高くなりました。

※1等米比率：米の品質を判断する指標の一つで、JAが行う等級検査で、1等と判定された割合です。

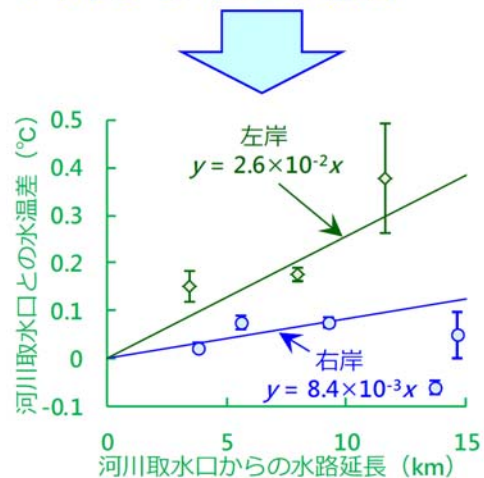


圃場までパイプライン化された集落は、品質も高い傾向を示す。



開水路地区では水温が高く、高温登熟障害の発生が増える。

パイプラインの場合・・・



水路末端部でも水温はほとんど上がらない。

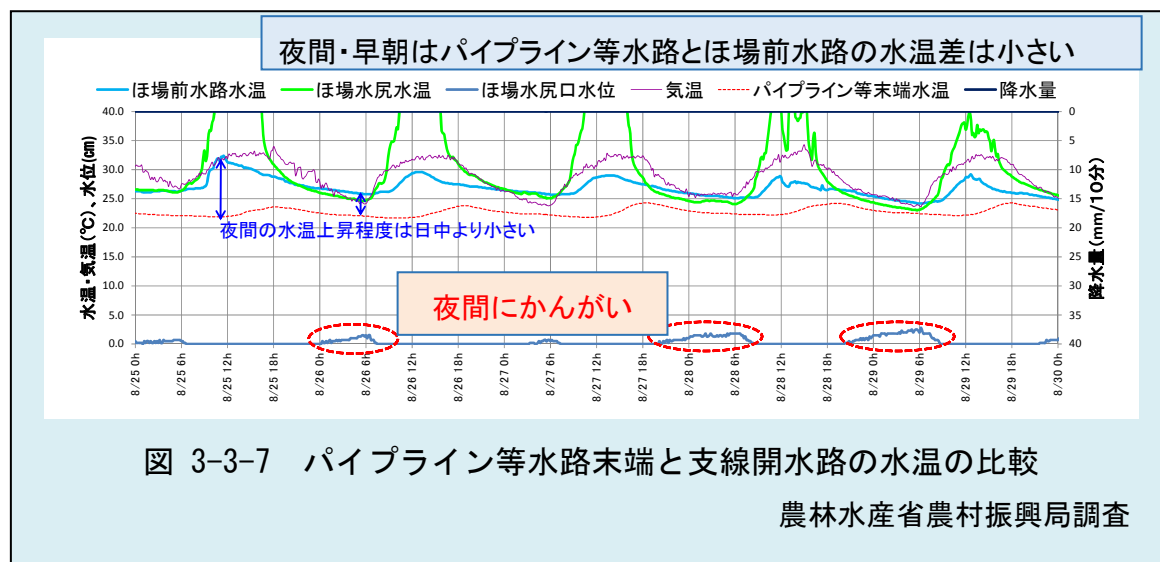
(出典：坂田 賢(2014)：パイプライン用水路の水温分布と品質向上効果、平成 26 年度農業農村整備のための実用新技術成果選集、p.74)

3-3-4. 適応条件、留意事項・課題

用水がパイプライン等水路の末端からほ場に達するまでの開水路区間を流下する間に、外気温が水温よりも高い条件下にあっては、日射や気温などの影響を受け、水温は徐々に上昇していきます。開水路流下過程における水温上昇の程度は、(図 3-3-5 で開水路の距離と水温上昇の関係を示したとおり)開水路区間の距離に左右されるほか、気象条件、流量(流速・水深)、周辺の土地条件などの影響も考えられますが、開水路の区間または流下時間が長くなるほど冷涼用水の供給効果が低減することは、避けられません。

一つの方法として、開水路の流下区間について蓋かけを行うなど、日射の影響による水温上昇をできる限り回避することが考えられます。

一方、気温が低く、日射の影響を受けない夜間は、開水路区間の流下過程における水温上昇が低減され、冷涼な水温が比較的維持される傾向にあります(図 3-3-7)。この傾向を活かし、パイプライン等水路の末端から離れたほ場においても本技術による冷涼用水送水機能を発揮できる手法として、「夜間かんがい」が効果的です。



(参考7) 夜間かんがいによる水稻の高温障害抑制効果の事例

- ① コシヒカリを用いて出穂後の水管理の違いによる胴割粒、乳白粒の発生状況を調査した結果、夜間かんがいを実施することにより、慣行に比べて胴割粒、乳白粒の発生は減少した¹¹⁾。
- ② ほ場から用水路までのパイプラインが整備されたほ場では高温障害の発生する夏季の夜間にかんがいを行うことで地温低下を促すことができた¹²⁾。
- ③ パイプライン利用区において、夜間かんがい(18時～翌朝6時)を行ったほ場が、慣行かんがい(6時～18時)を行ったほ場に比べ、収量、品質、食味とも上回る結果となった¹³⁾。

11) 中村啓二ら(2003): 登熟期間の水管理の違いが胴割粒・乳白粒の発生に及ぼす影響、北陸作物学会報(The Hokuriku Crop Science) 38 : 18～20

12) 坂田 賢ら(2015): パイプライン水路からの灌漑が夏季の圃場地温に及ぼす影響、農業農村工学会誌、第83号第9号

13) 大塚直輝ら(2013): パイプラインを利用した夜間灌漑実証試験、農業農村工学会誌、第81号第4号

3-4. ダム貯水池等の選択取水設備の活用

【当該技術の機能】

ダム貯水池の選択取水設備は、冷濁水対策として貯水池鉛直方向の任意の水深から取水できる構造とした設備です。

【上記機能を用いた気候変動適応への活用】

- ・作物の高温障害への適応：ダム用水の受益地における作物の高温障害対策として、貯水池の中層以深から取水することで冷涼水を供給できる可能性があります。
- ・気温上昇によるダム貯水池等の水質悪化への適応：アオコ等の植物プランクトンが異常増殖した場合には、中層から取水することで植物プランクトンが少ない水を取水できる可能性があります。また、植物プランクトンが増殖しやすい夏季に取水する水深を調節することで、植物プランクトンが増殖しにくい貯水池環境を形成できる可能性があります。

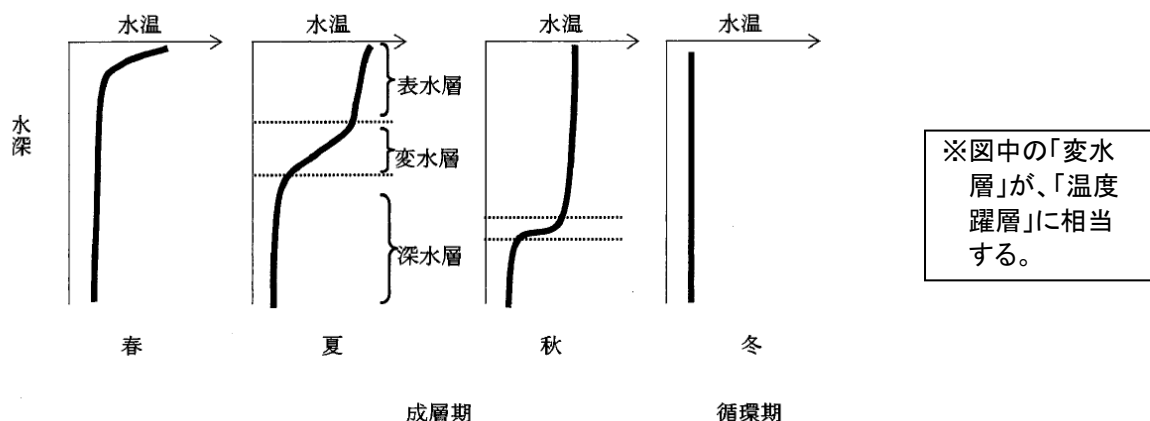
【解説】

3-4-1. 技術等の本来の機能の概要

(1)ダム貯水池における水温の鉛直分布

ダム貯水池では、太陽からの日射で水面が暖められることで、水面付近の水温が上昇し、水深が深くなると水温が低下する水温成層という現象がみられます(実際には、水温成層の形成には、いろいろな要因が複合的に影響します)。

水温が大きく変化する水深の範囲を水温躍層といいます。このような成層や躍層は、水温だけでなく、水の濁り(濁度)によって形成される場合があります。水温成層は、図 3-4-1 に示すように春から秋まで形成され、秋の終わりには水面が冷えて、密度が重くなり、沈むことで、自然に水深方向の循環が起こり、水温は水深方向でほぼ一様となります。



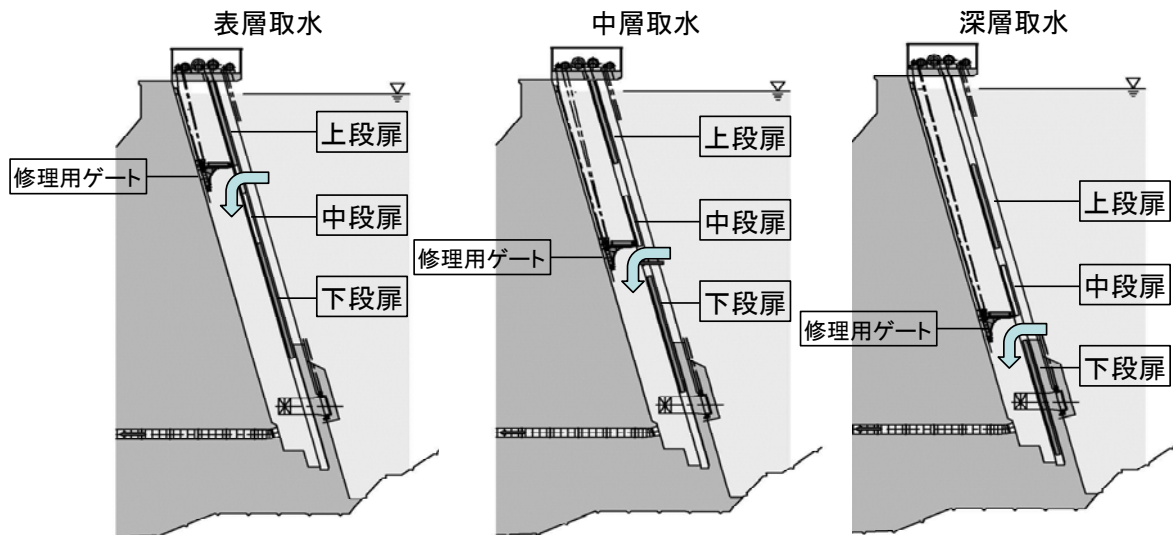
(出典:国土交通省河川環境課、曝気循環施設及び選択取水設備の運用マニュアル(案)、平成17年10月)

図 3-4-1 一般的な貯水池の水温鉛直分布(概念図)

(2)選択取水設備の概要

選択取水設備は、ダム貯水池において、水温や水質による成層化の生じている湖水から、放流に適した水質(水温、濁り及びクロロフィル a 等の濃度)を選択的に取水する設備です。

図 3-4-2 に示すように、任意の水深の湖水を取水します。



(出典 : 水資源機構荒川ダム総合管理所 Web サイト
<http://www.water.go.jp/kanto/arakawa/takizawa/kanri.html> (2018.9 閲覧)を元に作成)

図 3-4-2 多重式ゲート選択取水設備の運用

(3)選択取水設備の機能と運用

一般的な機能と運用方法は以下のとおりです¹⁴⁾。

1)水温を制御する機能

①冷水現象軽減

- ・水温成層が安定的に形成されている場合には、冷水軽減対策として、水温躍層より上層の温水層から取水を行う。
- ・洪水時や貯水位低下時に冷水を放流することを避けるために、予め水温躍層を形成したい層から取水する。

②温水現象軽減

- ・水温成層が形成されている場合には、選択取水位置を下げ、冷涼な水の取水を行う。

14)国土交通省河川環境課:曝気循環施設及び選択取水設備の運用マニュアル(案)、平成 17 年 10 月

2)濁水長期化現象を軽減する機能

- ・貯水池内に貯留される濁質物質の総量を低下させるために濁度の高い層から取水する。
- ・濁度の低い層から選択取水を行い放流水の濁りを抑える。

3-4-2. 気候変動に対する適応技術としての活用

農業用水における選択取水設備の運用は、表層の温かい水を取水することが一般的ですが、平均気温の上昇による高温障害対策への対応としては、「温水現象軽減」の運用に準じて、選択取水位置を下げ、冷涼な水を取水することが考えられます。

平均気温の上昇は、富栄養化現象を促進し、アオコの発生など貯水池水質を悪化させる場合があります。水質悪化時には、選択取水により、悪化した水を避けて取水することが考えられます。また、富栄養化による水質悪化を抑制するため、選択取水によりダム貯水池表層の回転率を上げたり、表層水を厚くしたりする運用を行うことも考えられます。

3-4-3. 具体的な活用と効果

(1)気温の上昇に伴う高温障害への適応

「3-3. パイプライン等の活用」と同様に、水稻の高温障害対策として、冷涼な用水の供給機能の活用が考えられます。具体的には、パイプライン等水路の水源となっているダム貯水池において、選択取水設備を用いて、水温の低い中層からの取水により冷水を供給することで、水稻等の高温障害を抑制できる可能性があります(図 3-4-3 参照)。

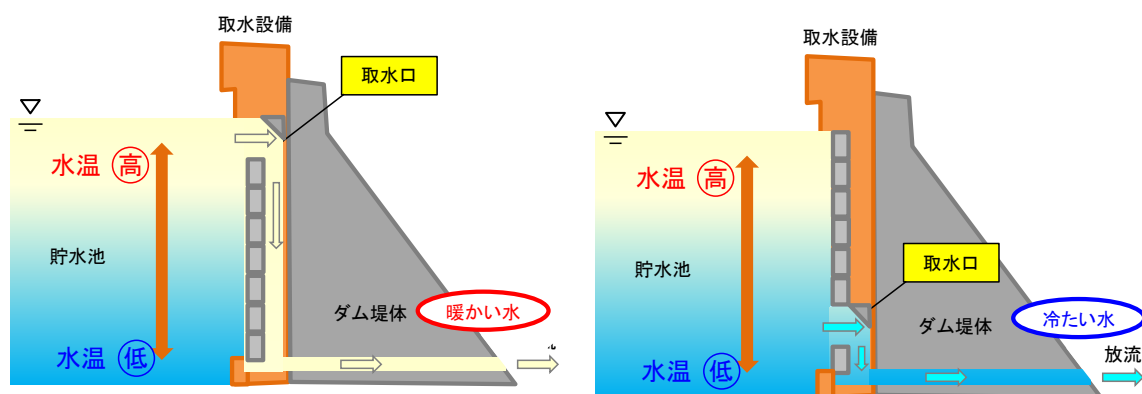


図 3-4-3 冷水を取水する選択取水設備の運用

(2)気温の上昇に伴う貯水池の水質悪化への適応

気温の上昇に伴い、ダム貯水池では表層の水温が上昇することで藻類が増殖しやすくなり、アオコなどによる富栄養化現象が生じます。

選択取水設備の活用は、①直接アオコ等を放流したり、取水を回避したりする運用、②

貯水池内の水温成層を制御し、アオコ等の増殖を抑制する運用、の2つがあります。

以下に、それぞれの運用方法について詳述します。

①直接アオコ等を放流したり、取水を回避したりする運用¹⁵⁾

アオコが発生している状況では、選択取水設備を表層取水として運用することで、表層のアオコを放流して貯水池のアオコを減少させたり、アオコが発生していない中下層水を選択的に取水することで水利用への被害を回避したりすることができます。

②貯水池内の水温成層を制御し、アオコ等の増殖を抑制する運用

選択取水設備を用いて貯水池内の水温成層を制御する方法には、水温成層期(春季から夏季)の貯水池内における熱の蓄積を抑えることで貯水池表層の水温の上昇を防ぐ方法と、選択取水を運用して成層期(春季から夏季)の貯水池内における表層水を厚くする方法¹⁴⁾があります。

前者は、春季から夏季にかけて表層取水を行うことにより、日射によって暖められる表層水を極力放流し、水質悪化を発生させる植物プランクトンに適した水温となる期間を短縮する運用です。

後者は、選択取水の位置を深い位置に設置することで、放流に伴って形成される水温躍層位置を低下させ、成層期(春季から夏季)の貯水池内における表層水を厚くすることで、図 3-4-4 に示すように植物プランクトンを光の届きにくい深い水深まで誘導する運用です。

選択取水設備の運用による富栄養化対策としての効果は、ダム特性、地域特性、水質・気象特性など様々な事項を考慮に入れて検討する必要があります。

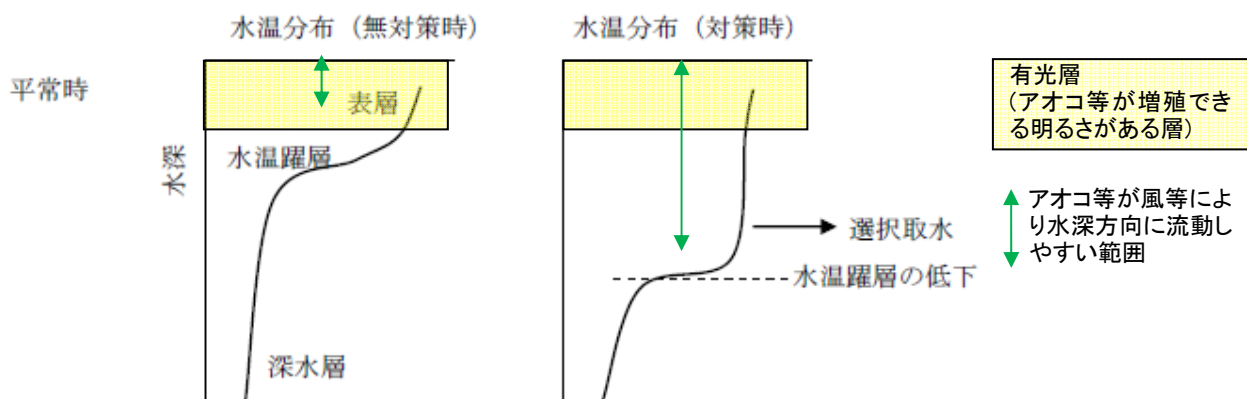


図 3-4-4 表水層を厚くする選択取水設備の運用イメージ

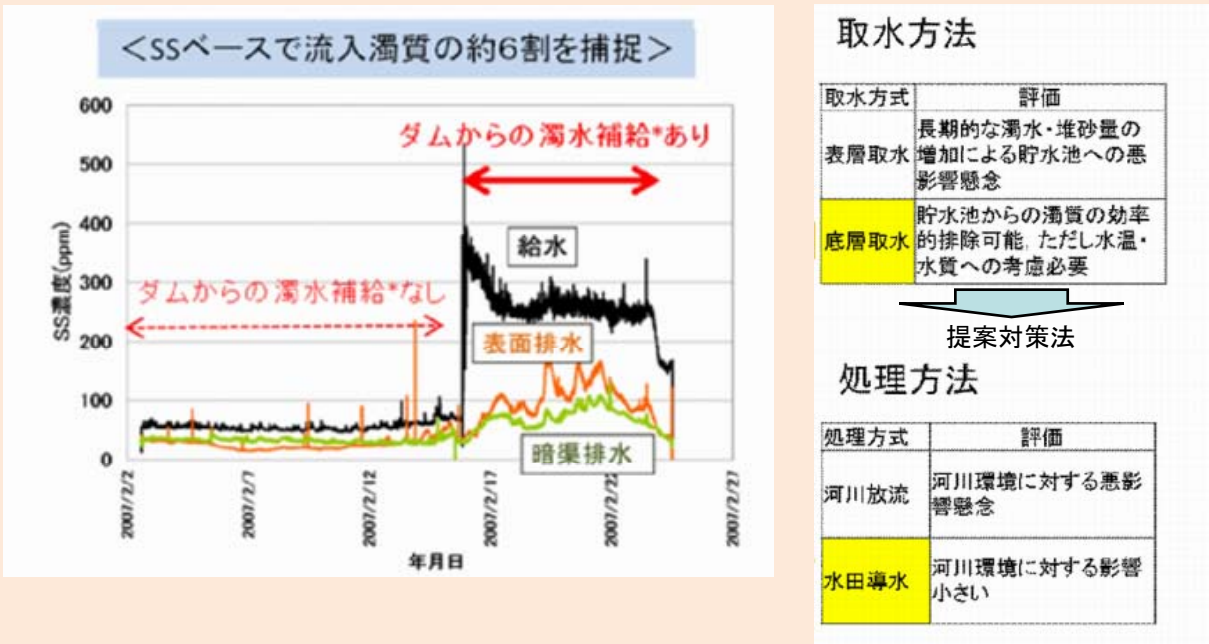
15)農林水産省：農業用貯水施設におけるアオコ対応参考図書、平成 24 年 3 月

3-4-4. 適応条件、留意事項・課題

- ①高温障害対策として、選択取水によって取水した冷涼な水を用いる場合、受益地まで冷涼状態を保持するには、取水設備(貯水池)から直接取水し、パイプライン等による送水ができる条件にあることが必要です。
- ②ダムからの直接取水ではなく、河川に一旦放流し、下流の堰等から取水している場合は、選択取水された冷水の河川放流が、下流河川の水産や親水利用等に影響を与えないことを、確認する必要があります。

（参考7）大雨や短時間強雨の増加に対する選択取水設備の活用

大雨や短時間強雨の増加に伴い、ダム湖への土砂流出が増大しますが、濁水長期化対策として行われる高濁度の濁水を選択的に取水した水を、水田に導水することでダムの延命を図るとともに河川環境への悪影響を低減し、一方で、水田へ粘土を供給し、耕土を改良する効果も期待されます。これは、流水客土といわれる手法ですが、水田生態系への影響など考慮する必要があります。



（出典：農業用ダム貯水池の底層取水と水田導水を組み合わせた濁水対策 農研機構）

図 3-4-5 非かんがい期における水田への濁水導水試験結果(2007 年 2 月)

参考文献

章	文献名称等
1章	「農林水産省気候変動適応計画」平成30年11月改正 農林水産省
	「農業農村整備における地球温暖化対応策のあり方」平成20年1月30日 農業農村整備における地球温暖化対応検討会
	「気候変動の観測・予測及び影響評価統合レポート2018～日本の気候変動とその影響～」2018年2月 環境省 文部科学省 農林水産省 国土交通省 気象庁
2章	「農林水産省気候変動適応計画」平成30年11月改正 農林水産省
3章	「田んぼの水管理をICTで遠隔操作・自動制御」(2017年8月22日、農研機構HP)
	「水管理は飽水管理！」(長岡農業普及指導センター)
	藤原ら(2013): 夏期の飽水管理が土壌環境と玄米品質に及ぼす影響、農業農村工学会誌、No.81(4)
	竹下ら(2013): 「山田錦」における高温障害抑制のための掛流し灌漑試験、農業農村工学会誌、No.81(4)
	「平成29年度地球温暖化影響調査レポート」(H30.10 農林水産省)
	「平成26年度地球温暖化影響調査レポート」(H27.8 農林水産省)
	「気象情報及び作物生育モデルを利用した水稻高温障害を軽減する栽培管理技術の開発、水田センサ×技術普及組織による農業ICT導入実証プロジェクト」(平成28年、千葉県)
	スマート農業技術カタログ(平成30年10月更新) http://www.maff.go.jp/j/kanbo/kihyo03/gityo/smart_agri_technology/smartagri_catalog.html
	「平成29年度地球温暖化影響調査レポート」(H30.10 農林水産省)、p60
	フォアス縦断面図 農林水産省HP http://www.maff.go.jp/j/seisan/ryutu/daizu/d_kyogikai/18/pdf/data09.pdf
	フォアス俯瞰図 農研機構HP
	小泉健(2013): 地下水水位制御システム(フォアス)の魅力と地球環境への貢献、Seneca 21st、平成25年7月8日
	坂田賢ら(2017): 「重粘土転換畑における地下水水位制御システム整備で施工された弾丸暗渠の排水性」、農業農村工学会論文集(No.304(85-1))
	粟生田忠雄(2017): 「地下灌漑稲作の農村環境恒常化、日本環境学会第43回研究発表会(2017)」
	友正達美ら(2015): 代かき用水需要の平準化による春渇水への適応の可能性、農業農村工学会誌第83巻第9号
	坂田賢ら(2017): 地下水水位制御システムを利用した地下灌漑時における浸潤域・地下水位の経時変化と水収支、農業農村工学会論文集No.304(85-1)
	平直人(2015): 津波被災水田における大豆塩害抑制技術、水土の知(Vol83, No.12)
	原口暢朗、若杉晃介(2016): 水田における暗渠管を利用した地下灌漑に及ぼす下層土の透水性の影響、農業農村工学会誌、84(3)、27-30
	「用排水路設計指針」(平成27年7月 北海道農政部)
	「設計基準「パイプライン」技術書」(平成21年3月)
	坂田賢(2014): パイプライン用水路の水温分布と品質向上効果、平成26年度農業農村整備のための実用新技術成果選集、p.74
	中村啓二ら(2003): 登熟期間の水管理の違いが胴割粒・乳白粒の発生に及ぼす影響、北陸作物学会報(The Hokuriku Crop Science) 38 : 18~20
	坂田賢ら(2015): パイプライン水路からの灌漑が夏季の圃場地温に及ぼす影響、農業農村工学会誌、第83号第9号
	大塚直輝ら(2013): パイプラインを利用した夜間灌漑実証試験、農業農村工学会誌、第81号第4号
	「曝気循環施設及び選択取水設備の運用マニュアル(案)」(平成17年10月 国土交通省河川局河川環境課)
	水資源機構荒川ダム総合管理所Webサイト http://www.water.go.jp/kanto/arakawa/takizawa/kanri.html (2018.9閲覧)
	「農業用貯水施設におけるアオコ対応参考図書」(平成24年3月 農林水産省)