

5. 現地実験（亀山ダム適用実験）

試作機の長期的な耐久性と水質改善効果を実証するため、千葉県君津市東部に位置する亀山ダムに装置を適用し実験を行った。亀山ダムの選定理由は、1) 長期に渡りダム湖の水質測定が行われているため水質に関するデータ量が豊富である、2) 気象条件に恵まれ日照時間が多い、3) 関東近郊という地理的な要因、という好条件を含んでいたからである。なお、実験期間中、千葉県亀山・片倉ダム管理事務所の皆様には、実験フィールドの提供ならびに船外機の貸与など多大なご協力を頂いた。

【千葉県 亀山ダム位置図 平面図】

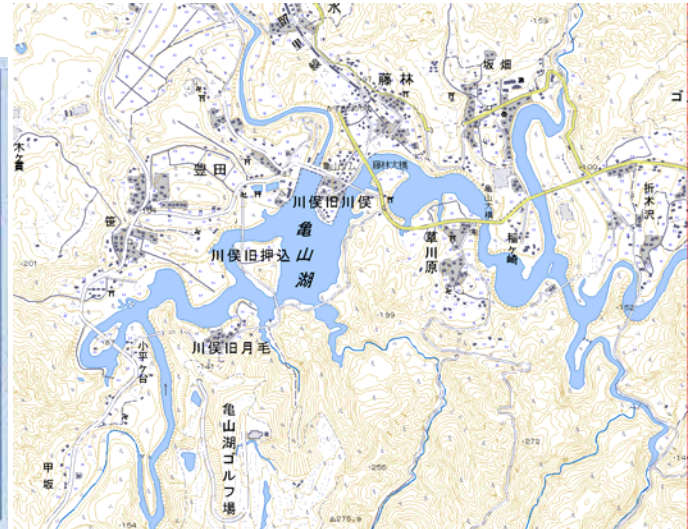


図 13 亀山ダム位置図（パンフレットより抜粋）

図 14 亀山ダム位置図（国土地理院 HP より）

表 3 亀山ダムの概要

亀山ダム		貯水池	
形式	重力式コンクリートダム	集水面積	69.7 km ²
堤の高さ	34.5 m	湛水面積	1.39 km ²
堤頂長さ	156 m	有効貯水	13,350,000 m ³

5.1 実験期間

平成16年11月15日～18日（装置準備）

平成16年11月21日 曝気装置運転開始

実験装置運転期間（平成16年11月21日～平成17年9月30日）

※共同研究期間は、平成16年3月末までだが、千葉県亀山・片倉ダム管理事務所側のご厚意により水質の悪化が予想される夏季まで継続して実験を行うこととなった。

表 4 亀山ダム実験工程表

	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月	9月末
事前実験 （大型水槽）								
現地実験 （ダム湖）								

5.2 現地実験の目的

現地実験において、下記項目を検討し、装置の性能評価を行った。

①耐久性の評価

装置を長期間稼働させることによって、構成部品の耐久性やメンテナンス時期を検討する。
また、表4に示す天候、季節、時間帯における装置の稼働状況を観察する。

表4 実験装置の稼働パターン

	晴	夜間	曇	雨
気象及び時間帯				
装置稼働	運転	停止	運転	停止
吐出し空気量	大	無	低下	無

②水質改善効果

曝気の影響範囲内の水質を昼夜連続で一定期間測定を行い、溶存酸素量、水温等を測定し改善効果を検討する。

③亀山ダム湖の水質測定

装置の定期点検を行う際にダム湖の水質を定期的に測定することにより、ダム湖の水質変化を観察し装置の効果的な適用期間を判断する目安とする。

5.3 曝気箇所および装置設置場所

実験装置の維持管理を考慮し、空気圧縮機や太陽電池等の陸上設備に関しては亀山ダム管理事務所の敷地内に設置し、散気場所については、亀山ダムで以前から水質観測が行われている観測点に近い場所を選び散気場所の設定を行った。

【散気装置設置場所】

亀山ダム本体から南へ約 20m
管理事務所側端部から約 25m
(図 15 参照)

【陸上装置設置場所】

亀山ダム管理事務所敷地内

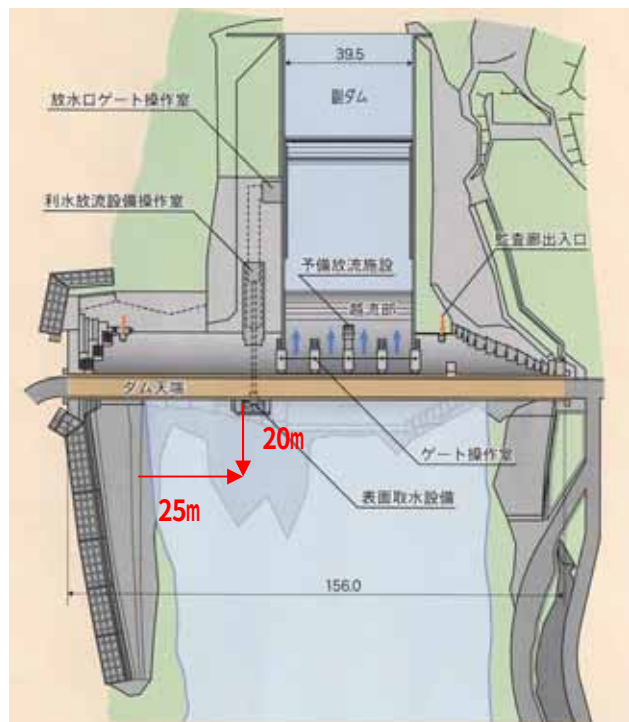


図 15 曝気装置設置場所(亀山ダムパンフレットより抜粋)

5.4 実験装置設置状況

太陽電池は、日射量が豊富な亀山ダム管理事務所の屋上の南向きに設置し、空気圧縮機は敷地内の庭に設置した。散気装置は、埋設と流出防止のため架台に取り付け設けてダム湖へ沈設した。



写真 15 太陽電池（管理事務所屋上設置）



写真 16 電力制御装置



写真 17 左：空気圧縮機
右：計測装置



写真 18 実験状況



写真 19 散気装置（水中沈設）

5.4 気象測定装置

実験中の気象観測については、亀山ダム管理事務所で毎日観測している測定値を基準とした。日射量については、亀山ダム管理事務所で測定している日射計（管理事務所屋上に設置）の他に、太陽光モジュール付近に日射計を新たに設置して日射量の計測を行った。



写真 18 亀山ダム管理事務所 日射計

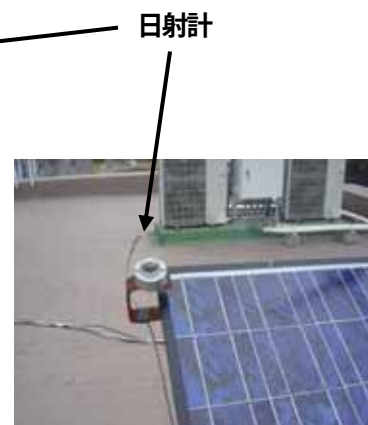


写真 19 太陽光パネル脇 日射計

5.5 曝気装置の運転観測概要

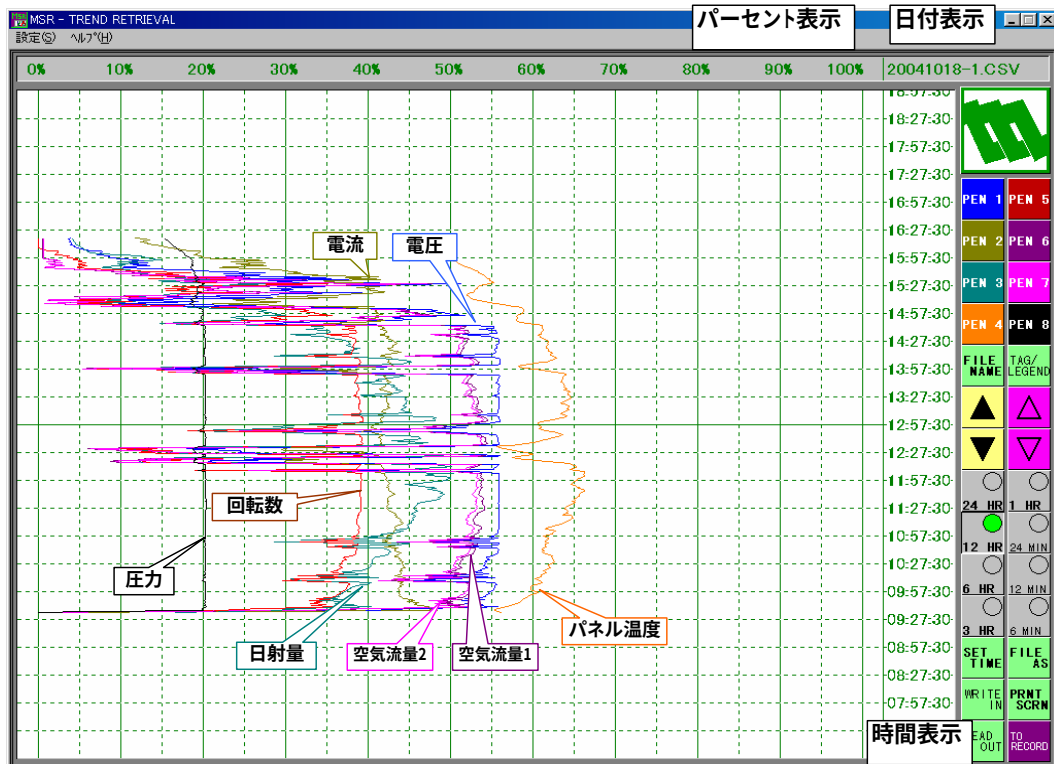
装置の稼働状況を把握するため、下記の項目をパソコンのモニターで常時観測できるような観測システムとした。運転時の測定項目を下記に示す。

計測項目：電圧／電流／日射量／回転数／パネル温度／空気量／時間／圧力

日々の測定データは接続されたパソコンに自動的に保存され、パソコンは、屋外ではなく亀山ダム管理事務所内の一室を借用し設置を行った。下図に実際のモニター上の画面を示す。

(例 1日の運転記録)

太陽光システム曝気装置 運転データ 表示説明



	名称		最大値	最小値
PEN1	電圧 (2次)	V	40	0
PEN2	電流	A	75	0
PEN3	日射量	W/m2	2000	0
PEN4	パネル温度	°C	100	-50
PEN5	回転数	rpm	2500	0
PEN6	空気流量1	L/min	100	0
PEN7	空気流量2	L/min	100	0
PEN8	圧力	Kg/cm2	10	0

図 16 曝気装置運転観測図



写真 20 モニターでの状況

5.6 耐久性の評価

下表とグラフに実験期間中の試作機の運転時間と空気圧縮機で製造された空気量を示す。

表5 実験期間中の稼働実績

	日照時間 (時間)	運転時間 (時間)	空気量 (KL)
16 年 11 月	78.7	71	420.8
12 月	193.7	161.7	820.2
17 年 1 月	216.4	187.5	1028.1
2 月	185.8	160.5	781.2
3 月	239.4	203.6	1034.8
4 月	270.6	167.9	787.9
5 月	247.6	139.6	575.8
6 月	261.1	205.6	873.9
7 月	281.4	238.6	933.2
8 月	294.4	270.9	1123.5
9 月	251.3	233.4	931.7
Σ	2520.4	2040.3	9311.1

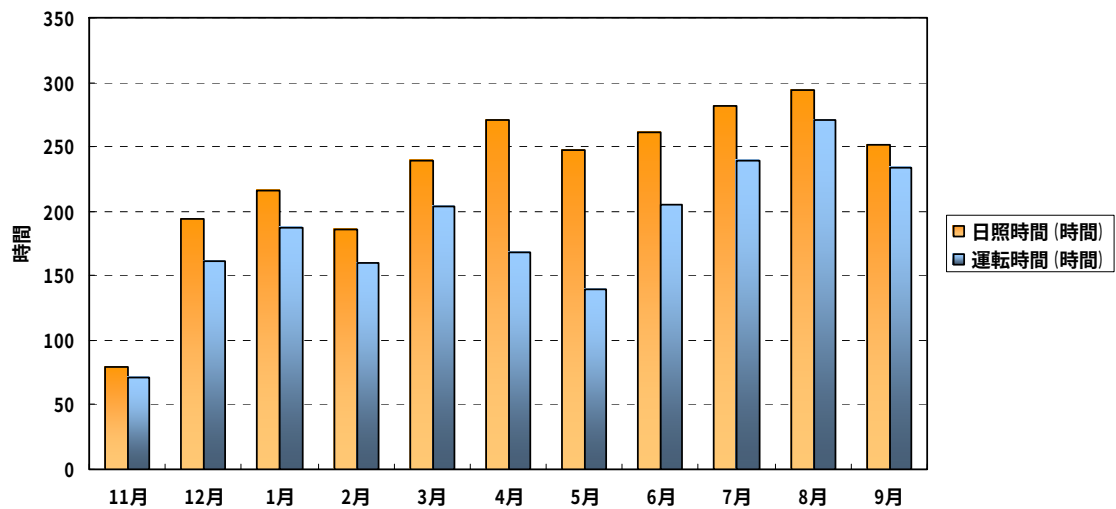


図 16 日照時間と運転時間の関係

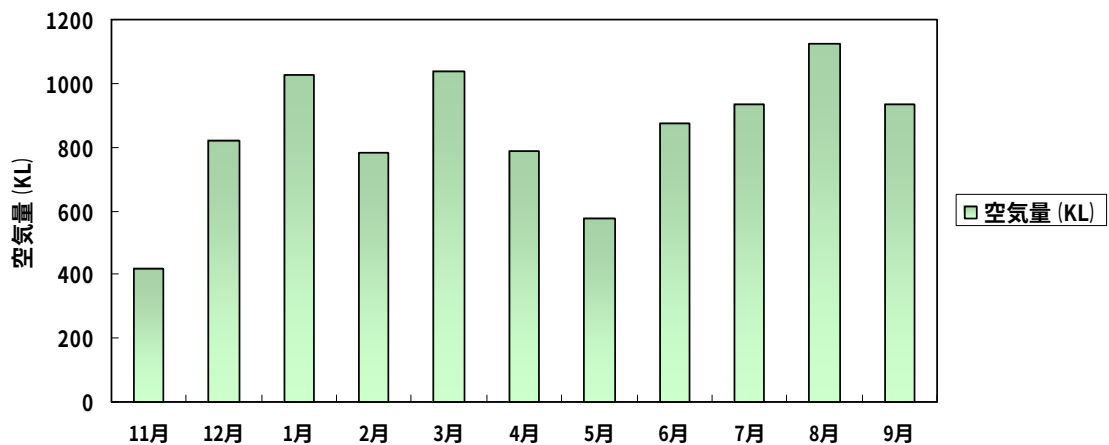


図 17 実験期間中の空気量の変化

実験結果を整理した結果、試作機の稼働実績を下記に示す。

【運転時間と稼働率】

平成 16 年 11 月 21 日～平成 17 年 9 月 30 日

【運転時間と稼働率】

実験期間中の亀山ダムの日照時間（120w/m² 以上の時間） 2520 時間

空気圧縮機 稼働時間 2040 時間

稼働効率 81%

【実験期間中の空気量】

9311KL ⇒ 約 931 万リットルの供給

5・6.1 耐久性の考察

- ・試作機の稼働は、予想通り、日照時間の増加に比例して運転時間も増加することが明らかになった。しかし、空気圧縮機から製造される空気量は、装置の特性から日射量 600W/m² を境に一定出力となるため、冬場に降雨量の少ない千葉県の気象条件下では、夏季に著しく空気量が増加するような傾向は見られなかった。
- ・4 月、5 月に、稼働実績が低下した理由は、予想された以上に太陽電池の発電量が多く電力制御装置の構成部品の一部が発熱により動作が不安定となり、原因究明と修理に時間を費やした結果である。運転の支障となった構成部品に関しては、電気容量の大きい部品に交換したため、5 月中旬以降、同様な故障は起きなかった。
- ・試作機は、平均して 1 日約 7 時間の運転を行い、9 月末まで 2,040 時間の稼働実績を得た。
- ・実験期間中、季節の変化や悪天候にも左右されない装置の屋外における耐久性が確認できた。

5.6.2 試作機の実験期間中の運転性能確認

下図18は、平成17年6月28日における装置の運転観測結果である。当日は、実験期間中、特に1日の日射積算量が高い日であった（亀山ダム気象日報より）。図18は、日射量の変化に追従して空気圧縮機が稼動していることを示し、日射強度が600W/m²以上の時、吐出空気量が一定となっているのは、モーターを定格出力以内の回転数に制御しているためである。

また、図19は、実験期間中の気象観測において日射量の最高時に試作機の出力電力が最高で700Wまで達したことを示している。

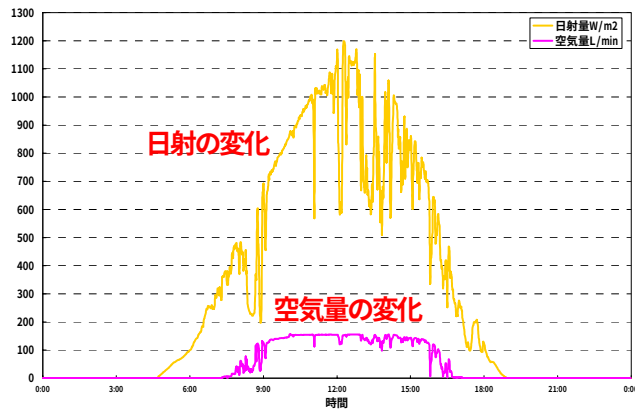


図18 曝気装置運転観測図

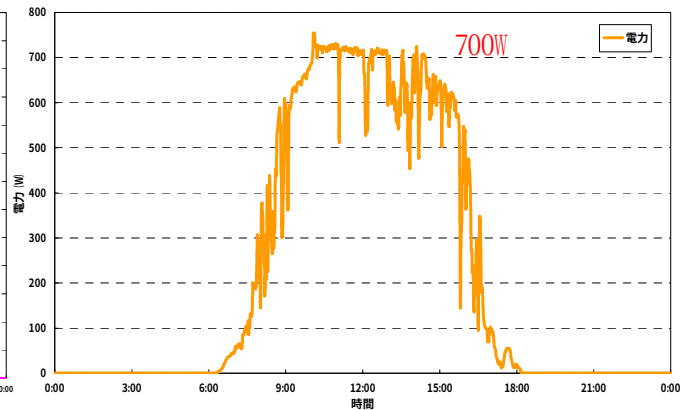


図19 出力電力の変化

【空気量の算定式】

図20は実験期間中の1日における日射の変動が最も少なかった平成17年1月2日の日射の変化を示す。この時の空気圧縮機へ動力を伝える直流モーターの回転数と空気圧縮機から吐出される空気量の関係を図21のグラフに示すと分布は直線を示し、モーターの回転数と空気量の関係式を得ることができた。

関係式 $Y = -0.1323X - 10$

Y：空気量(L/min) X：回転数 (rpm)

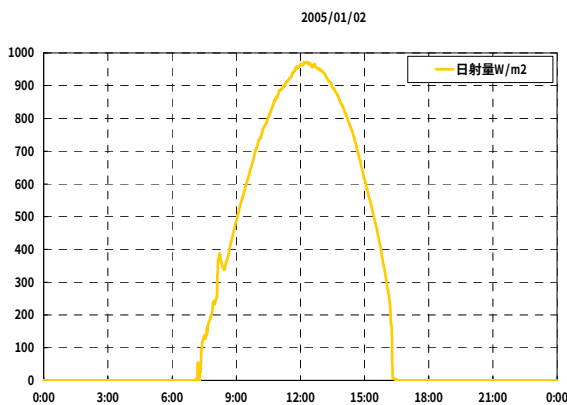


図20 日射量の変化

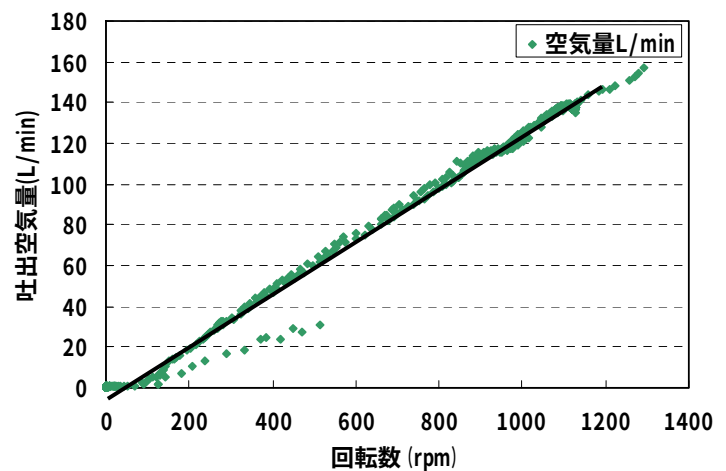


図21 回転数と空気量の関係

5.7 水質改善効果の検討

曝気装置近傍の水質を昼夜連続で一定期間測定を行い、水質の改善効果を検討した。改善効果の指標は、溶存酸素の改善を主に対象とし、他の測定項目については、参考データとして利用することとした。また測定は、曝気中心部近傍と装置の影響が及ばない場所の測定を行い、装置の効果が判別できるように測定を実施した。(図22 参照)

5.7.1 測定機材の設置(水質自動測定装置)

- ・水質自動測定は、Y S I 社製の多項目水質計 (Model6000UPG) を使用した。(写真21 参照)
多項目水質計は溶存酸素DO、水深、水温、導電率、PHの測定する機能を有している。
- ・多項目水質計は、機器構成を済ませた後、浮きとロープによって湖上に浮かべ設置を行った。
- ・測定機材は、図17が示す散気部を測定後、ダム中国网場付近の曝気影響外の地点に移動し計測を行った。



写真22 多項目水質計と装置設置前



図23 曝気装置運転観測図

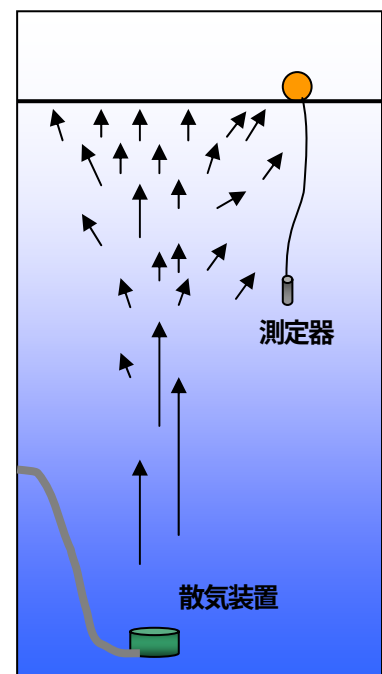


図24 多項目水質計設置図

5.7.2 測定計画

測定は、8月9日より行った。測定は目的に応じて以下の3回に分けて実施した。第1回及び第2回の測定器の設置は曝気装置近傍に3回目～5回目の設置では曝気装置より離れた網場に設置した。

第1設置期間：2005年8月9日 14:25～2005年8月18日 13:21

設置水深：5m, 測定間隔 3分

第2設置期間：2005年8月18日 15:01～2005年8月23日 11:11

設置水深：5m, 測定間隔 10分

第3設置期間：2005年8月23日 11:31～2005年8月25日 11:31

設置水深：5m, 測定間隔 10分

第4設置期間：2005年9月8日 ～2005年9月13日

機器故障のため欠測

第5設置期間：2005年9月13日 14:00～2005年9月20日 12:00

設置水深：5m, 測定間隔 10分

5.7.3 測定結果

装置の水質改善効果定を示す第1回目と第2回目の測定結果を次頁の図25から図34に示す。

また、装置の影響がない部分を測定した第5回目の結果を図35～図39に示す。

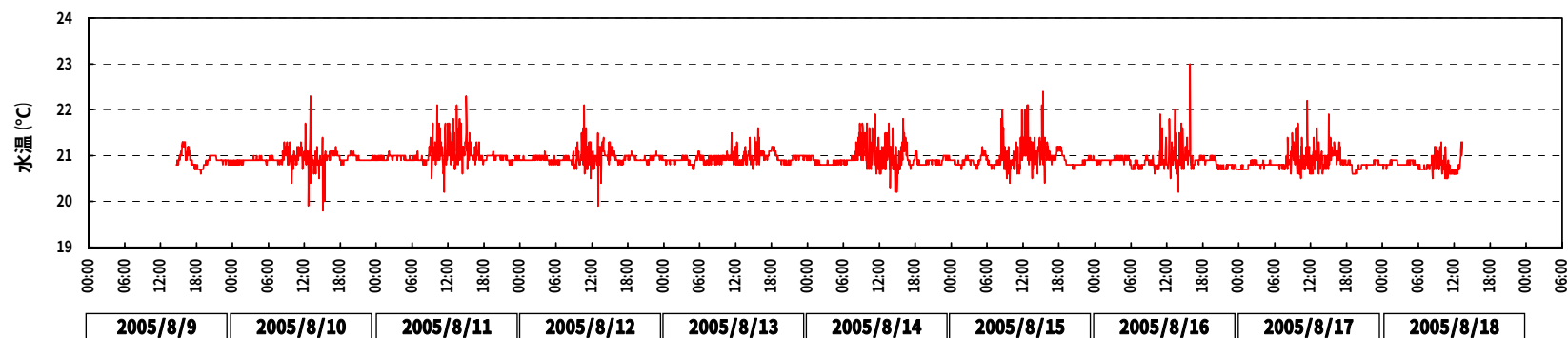


図 25 亀山ダムにおける連続観測結果 測定 1 回目 水温 (期間：2005 年 8 月 9 日～8 月 18 日，設置水深：5m)

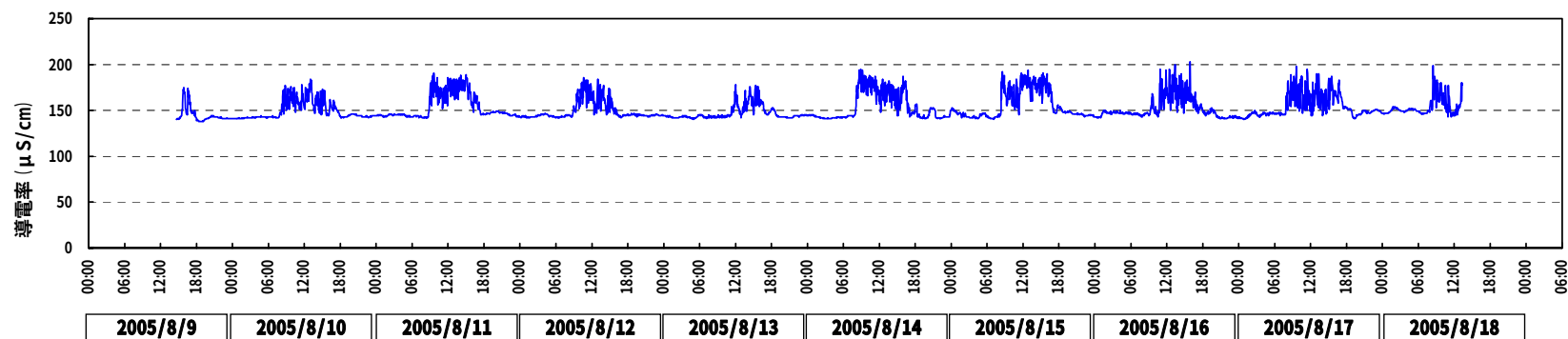


図 26 亀山ダムにおける連続観測結果 測定 1 回目 導電率 (期間：2005 年 8 月 9 日～8 月 18 日，設置水深：5m)

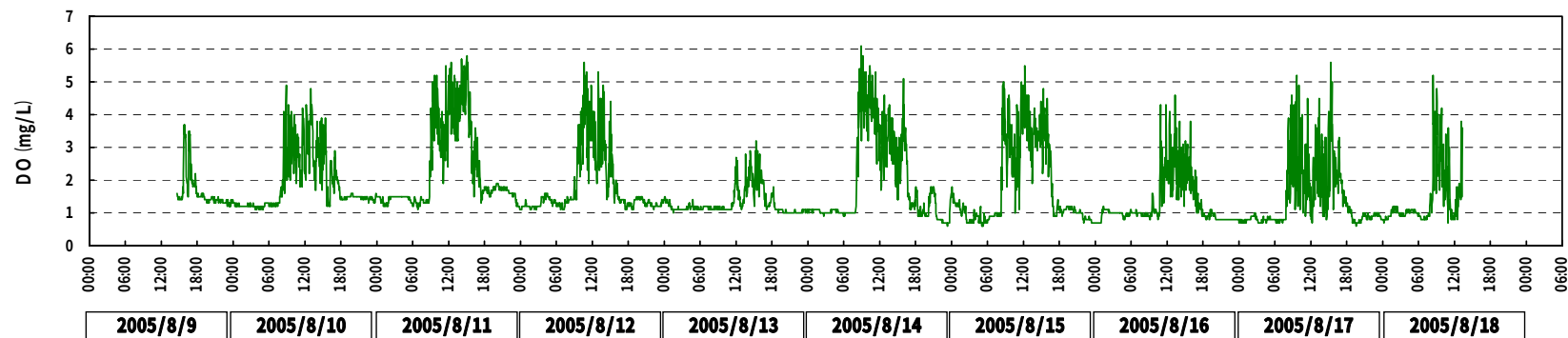


図 27 亀山ダムにおける連続観測結果 測定 1 回目 溶存酸素 (期間：2005 年 8 月 9 日～8 月 18 日，設置水深：5m)

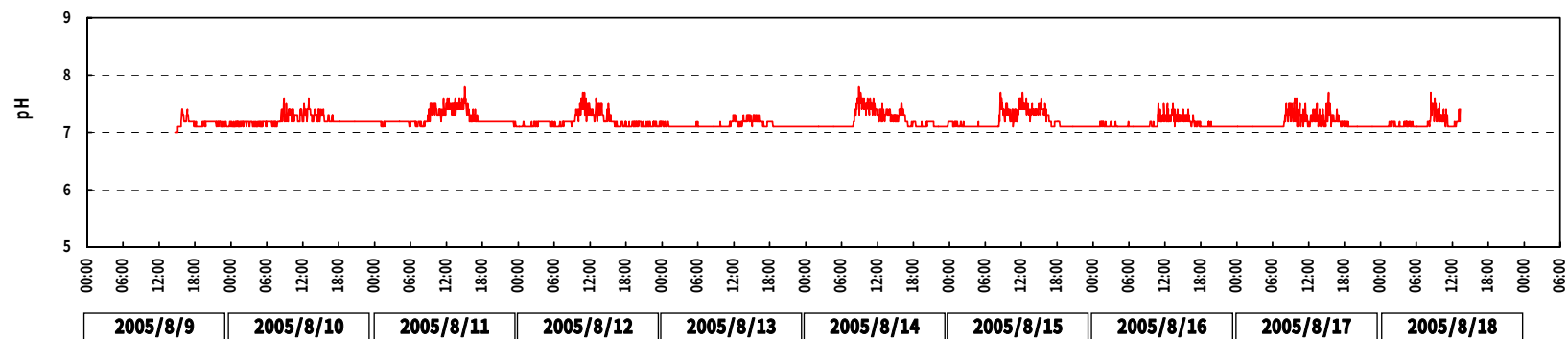


図 28 亀山ダムにおける連続観測結果 測定 1 回目 P H （期間：2005 年 8 月 9 日～8 月 18 日，設置水深：5m）

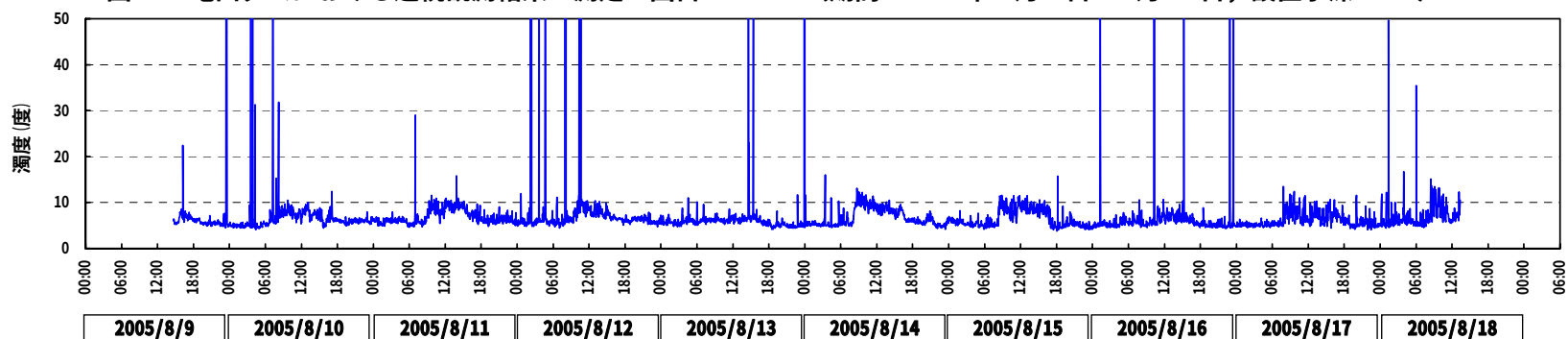


図 29 亀山ダムにおける連続観測結果 測定 1 回目 濁度 （期間：2005 年 8 月 9 日～8 月 18 日，設置水深：5m）

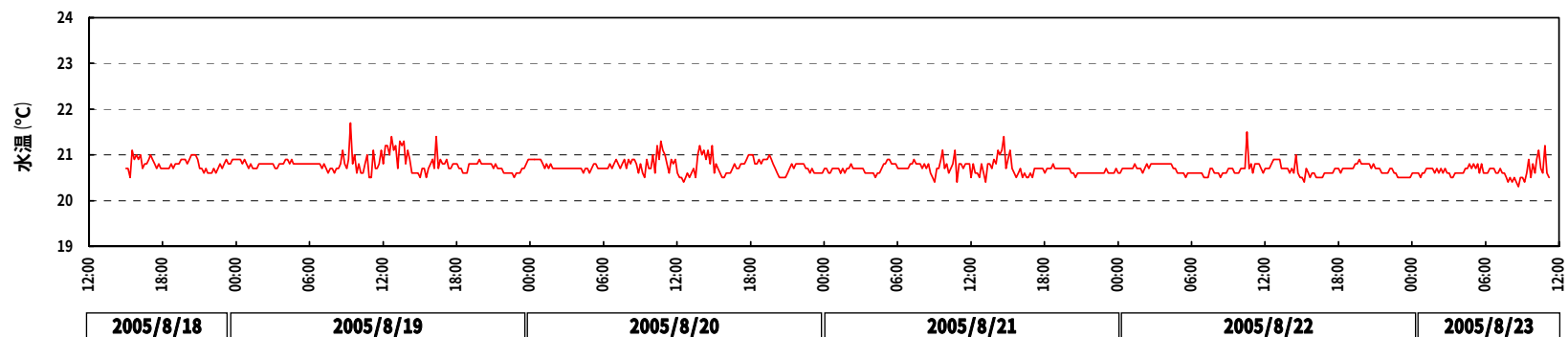


図 30 亀山ダムにおける連続観測結果 測定 2 回目 水温 (期間：2005 年 8 月 18 日～8 月 23 日，設置水深：5m)

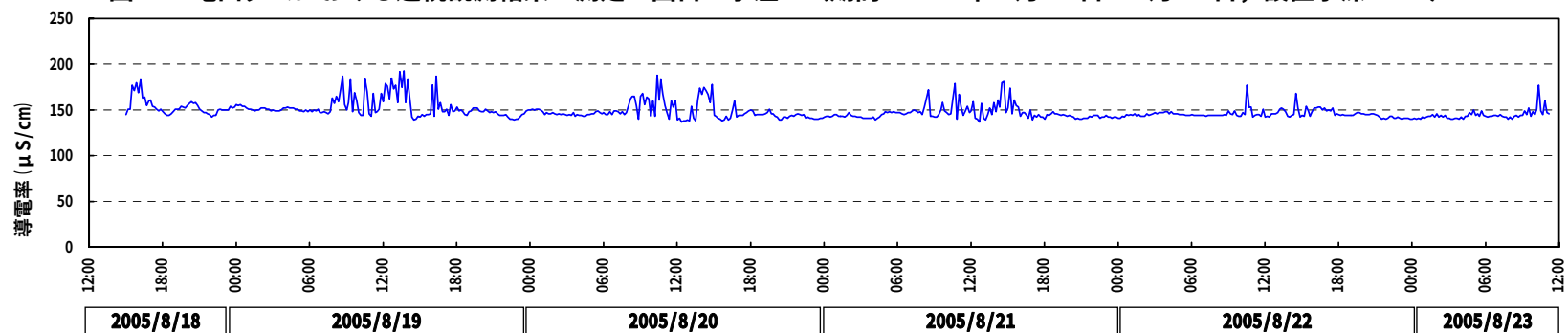


図 31 亀山ダムにおける連続観測結果 測定 2 回目 導電率 (期間：2005 年 8 月 18 日～8 月 23 日，設置水深：5m)

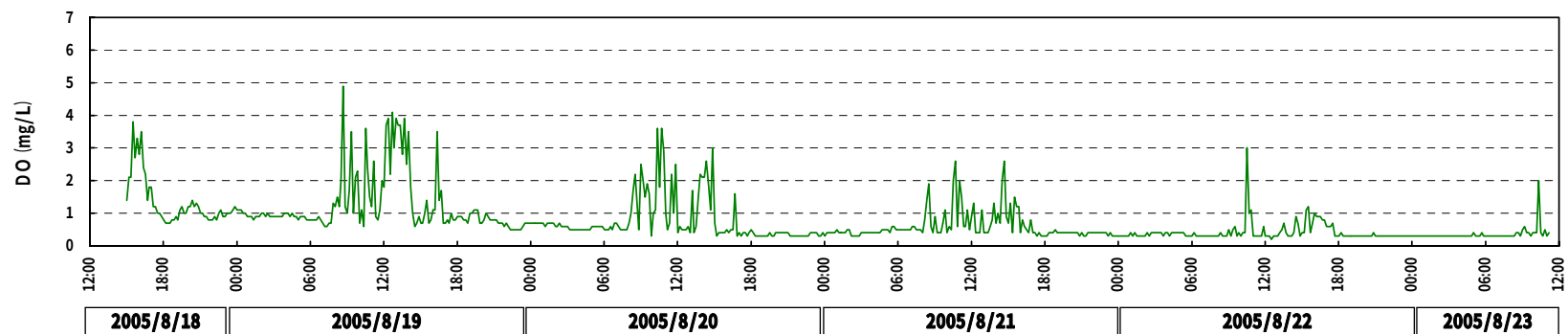


図 32 亀山ダムにおける連続観測結果 測定 2 回目 溶存酸素 (期間：2005 年 8 月 18 日～8 月 23 日，設置水深：5m)

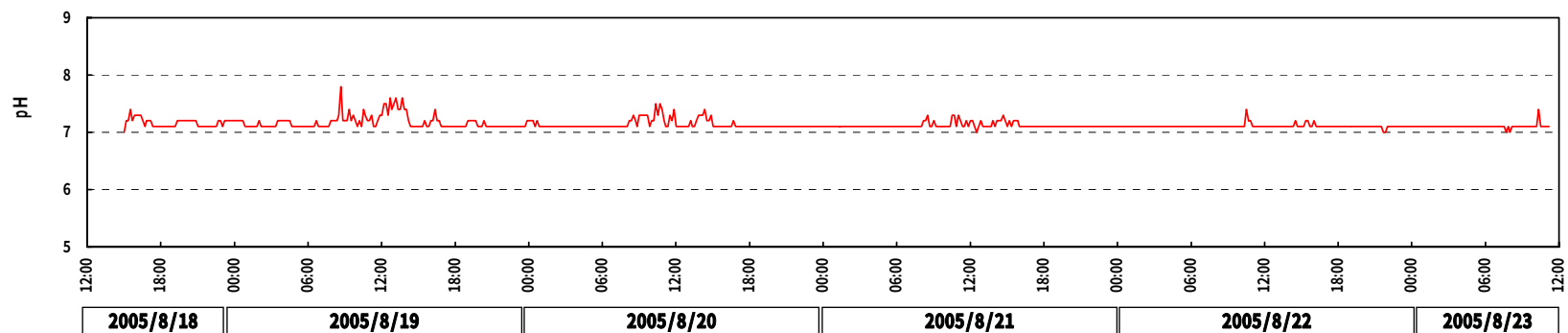


図 33 亀山ダムにおける連続観測結果 測定 2 回目 P H （期間：2005 年 8 月 18 日～8 月 23 日，設置水深：5m）

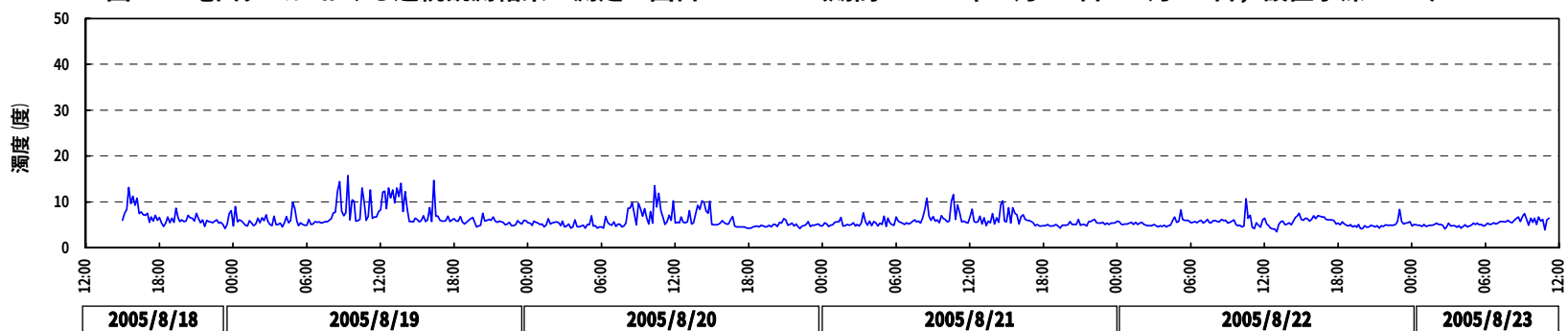


図 34 亀山ダムにおける連続観測結果 測定 2 回目 濁度 （期間：2005 年 8 月 18 日～8 月 23 日，設置水深：5m）

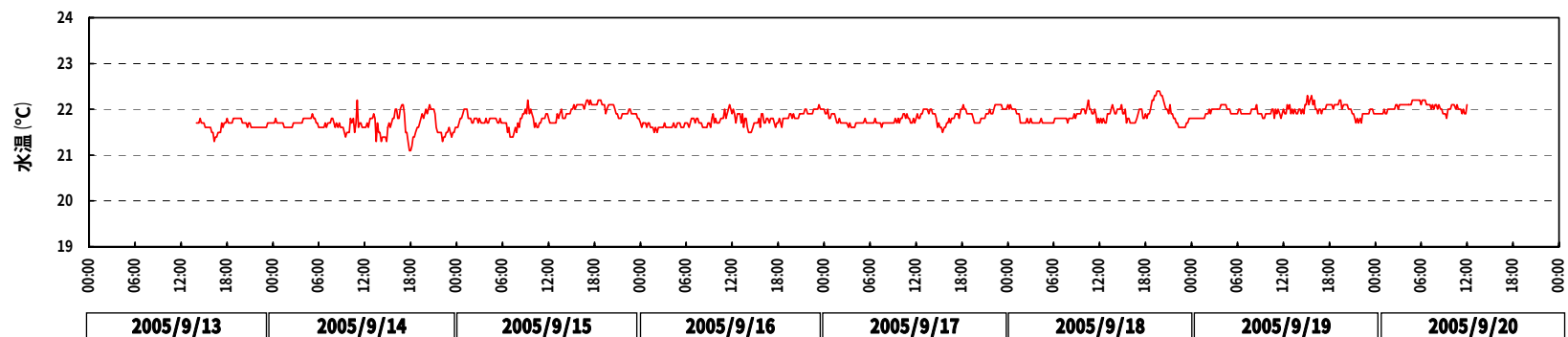


図 35 亀山ダムにおける連続観測結果 測定 5 回目 水温 (期間：2005 年 9 月 13 日～9 月 20 日，設置水深：5m)

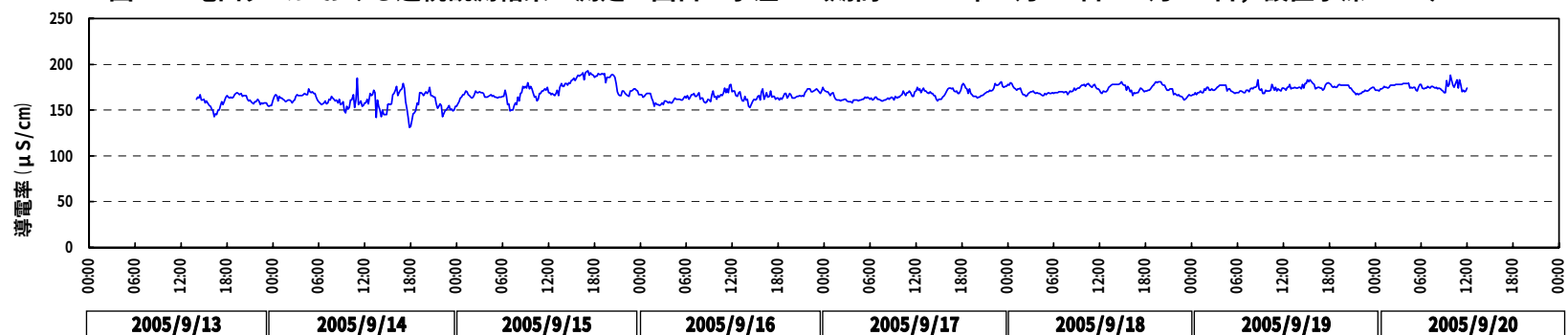


図 36 亀山ダムにおける連続観測結果 測定 5 回目 導電率 (期間：2005 年 9 月 13 日～9 月 20 日，設置水深：5m)

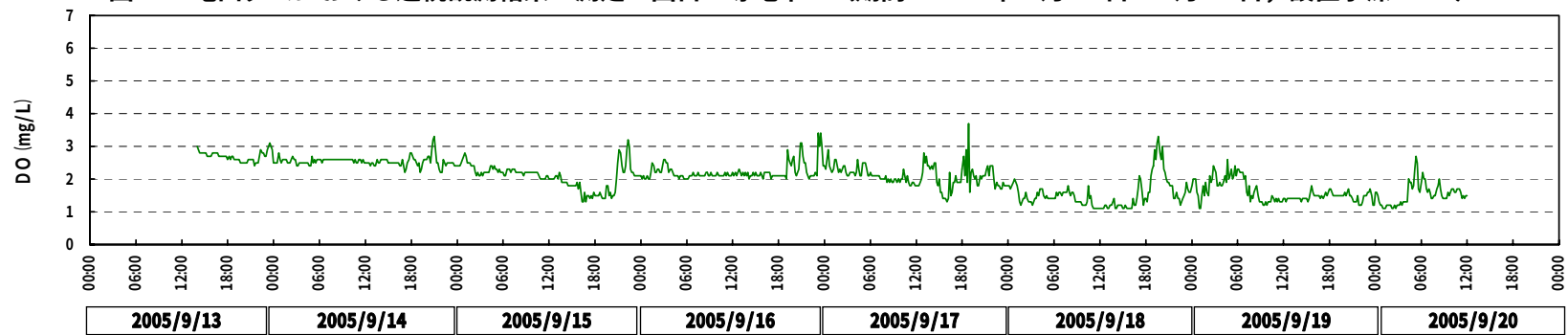


図 37 亀山ダムにおける連続観測結果 測定 5 回目 溶存酸素 (期間：2005 年 9 月 13 日～9 月 20 日，設置水深：5m)

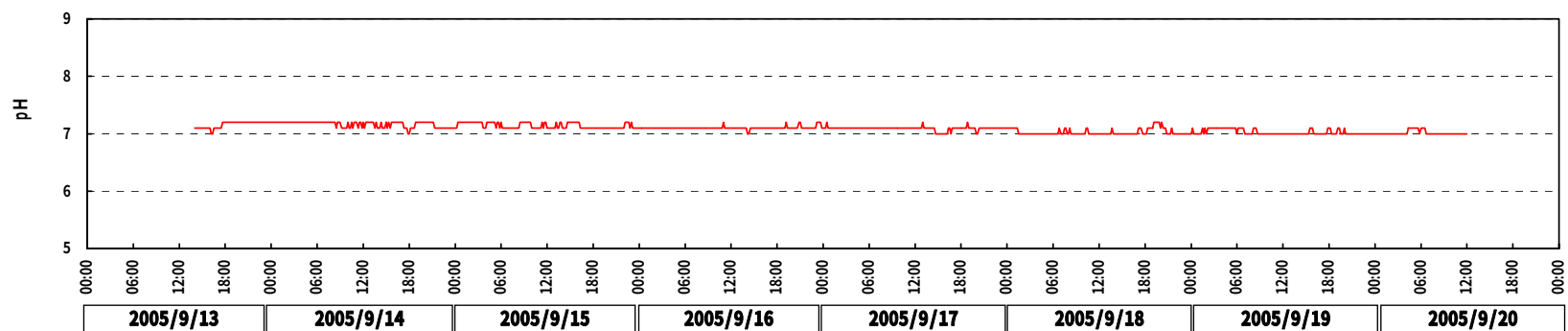


図 38 亀山ダムにおける連続観測結果 測定 5 回目 P H (期間：2005 年 9 月 13 日～9 月 20 日，設置水深：5m)

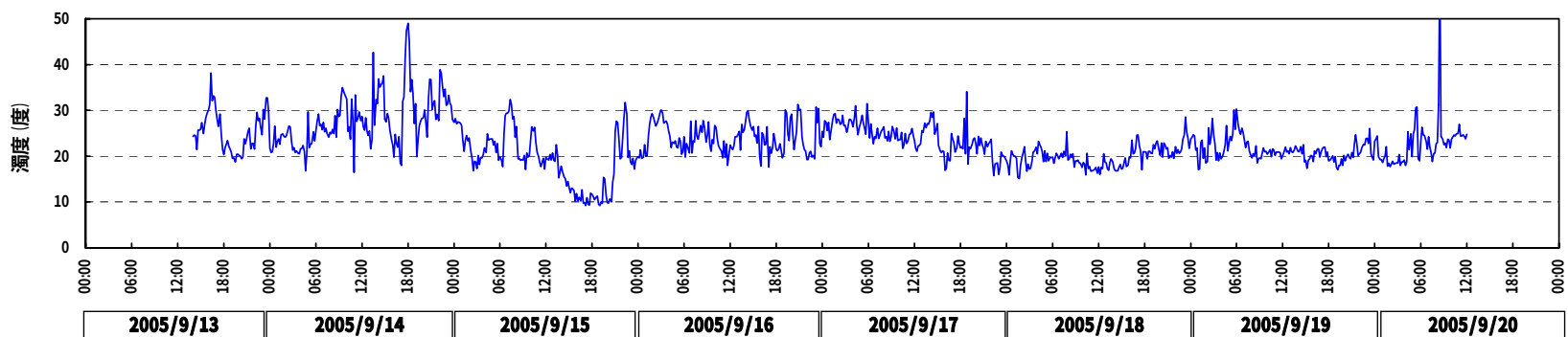


図 39 亀山ダムにおける連続観測結果 測定 5 回目 濁度 (期間：2005 年 9 月 13 日～9 月 20 日，設置水深：5m)

5. 7. 3 結果考察

- ・水質測定の結果、曝気装置近傍と装置の影響が及ばない場所（網場）では、明らかに水質変化の傾向が異なり、装置の稼動に伴った溶存酸素の上昇と判断できる。
- ・日没後、曝気装置の停止に伴い付近の溶存酸素が減少したことは、実験場所周囲の水塊の流入が大きく装置の効果を散逸させてしまったためと推察される。
- ・曝気装置による表層の泡の広がり、直径 10m 程度の円形を示した。

5.8 亀山ダム湖の水質測定

5.8.1 測定概要

装置の定期点検を行う際に、ダム湖の水質変化を観察し装置の効果的な適用期間を判断する目安とした。水質測定は曝気中心から一定範囲の測定を行い、装置の影響範囲の検討も同時に行った。

下表6に水質測定日の一覧を示す。

【期 間】平成16年11月18日～平成17年8月9日

※設置日16年11月18日

表6 水質測定日一覧

	実施日	備 考
	16年11月18日	初期値
	11月25日	1週間後
	12月21日	1ヶ月後
	17年01月27日	2ヶ月後
	02月24日	3ヶ月後
	03月23日	4ヶ月後
	04月18日	5ヶ月後
	05月19日	6ヶ月後
	06月20日	7ヶ月後
	07月25日	8ヶ月後
	08月9日	8.5ヶ月後

【測定箇所】

水深：-1m/-5m/-10m/最下部 の5点

平面位置：散気場所から-1m/5m/10m/15m 離れた点 4点

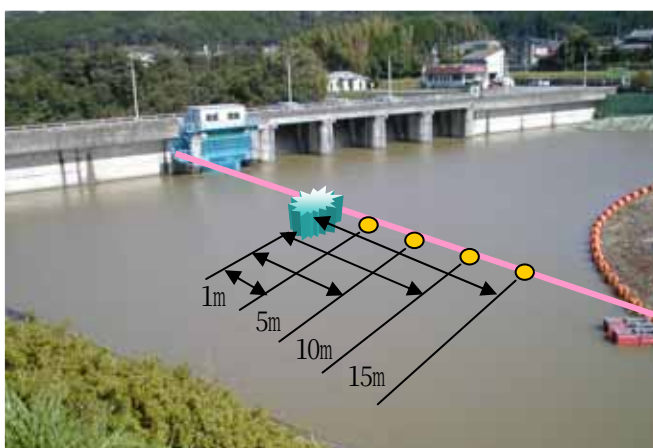


図40 測定位置平面図

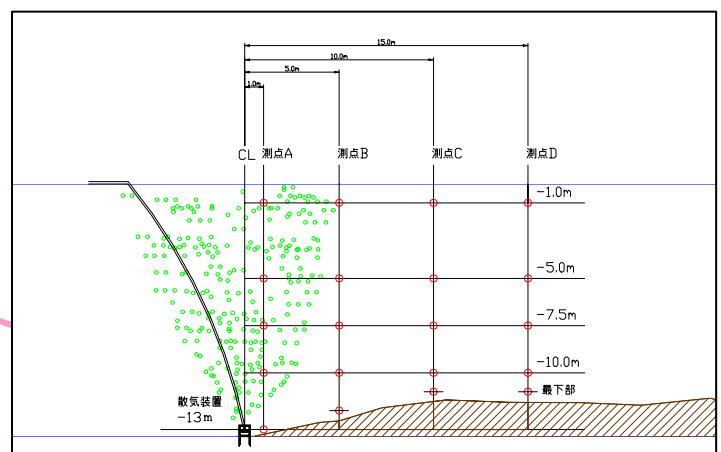


図41 測定位置断面図

【水質測定状況】

水質測定は、図 42 に示すように船上からセンサーを測点まで降下させて水質測定を行った。
測定箇所の位置出しは、メッセンジャーロープをダム堤体からダムの網場に張り、測量点の位置出しを行い
定位置で測定ができるように工夫した。

水質測定器は、大型水槽実験に使用した水質測定器と同様の測定器（マルチ水質モニタリングシステム：
ホリバ W22XD）を使用した。



写真 23 測定状況

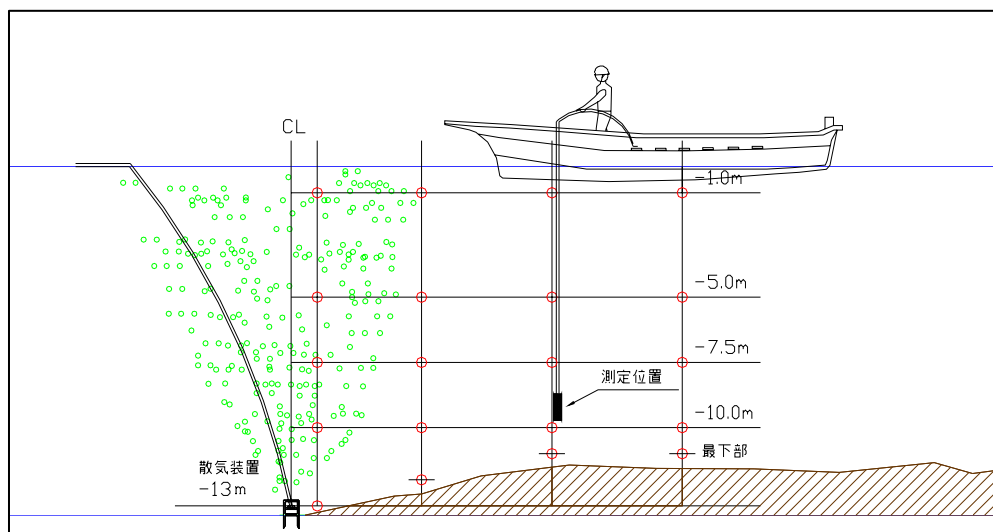


図 42 測定状況図

5.8.2 測定結果

実験期間中（04年11月～05年8月）のダム湖の溶存酸素の測定結果を次図43～図52に示す。

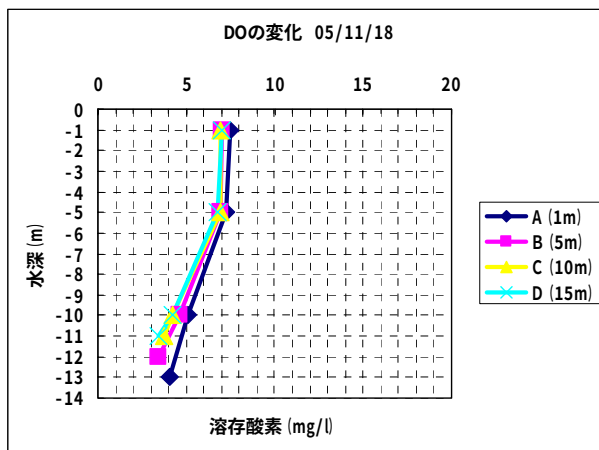


図43 溶存酸素分布 初期値

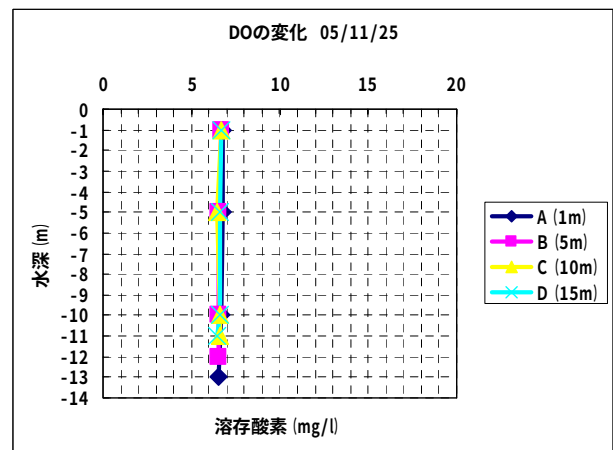


図44 溶存酸素分布 1週間後

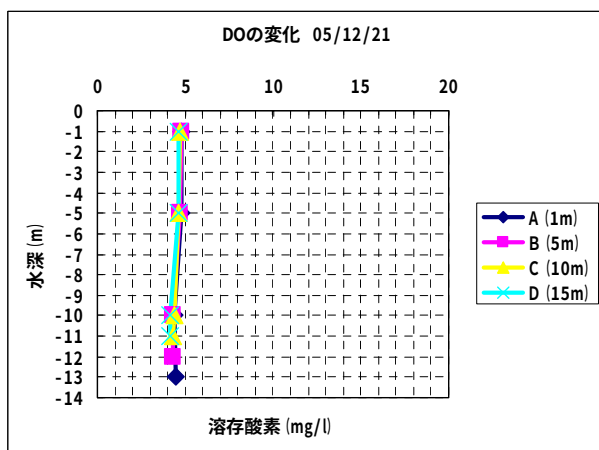


図45 溶存酸素分布 1ヵ月後

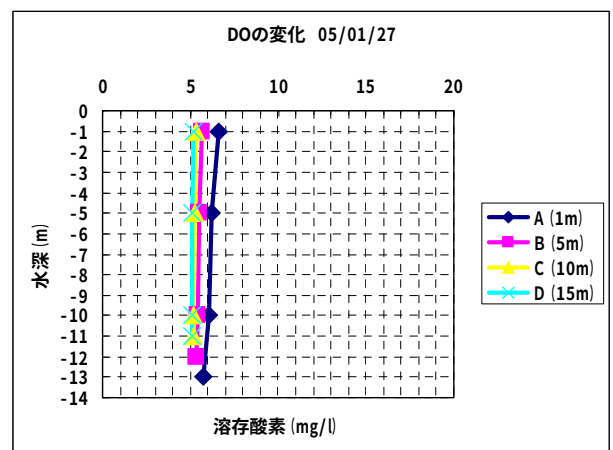


図46 溶存酸素分布 2ヵ月後

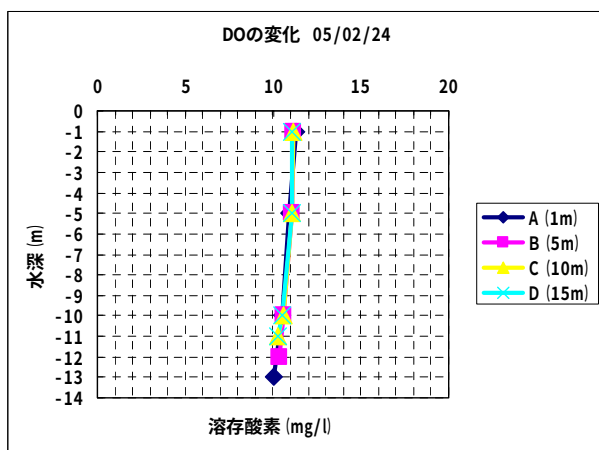


図47 溶存酸素分布 3ヵ月後

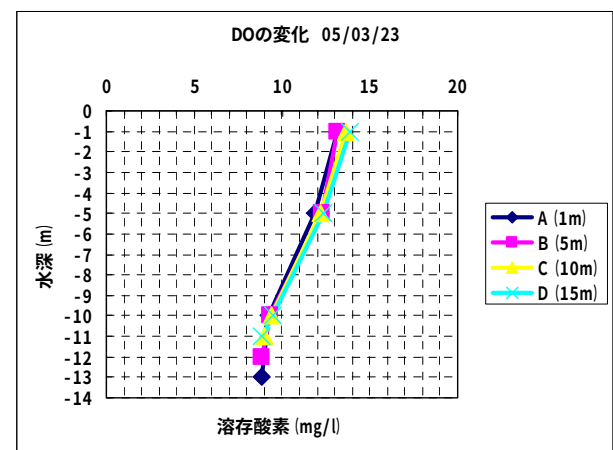


図48 溶存酸素分布 4ヵ月後

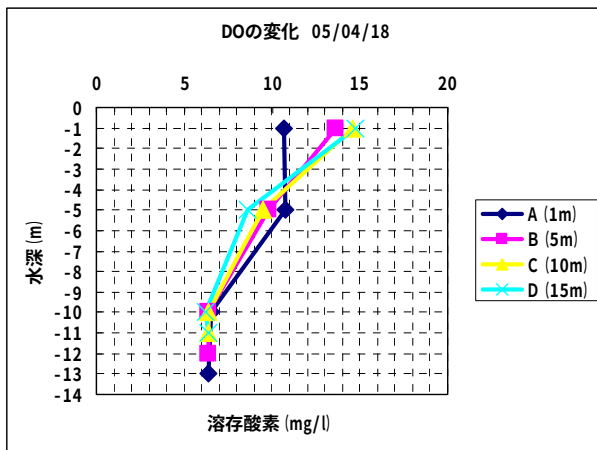


図 49 溶存酸素分布 5ヵ月後

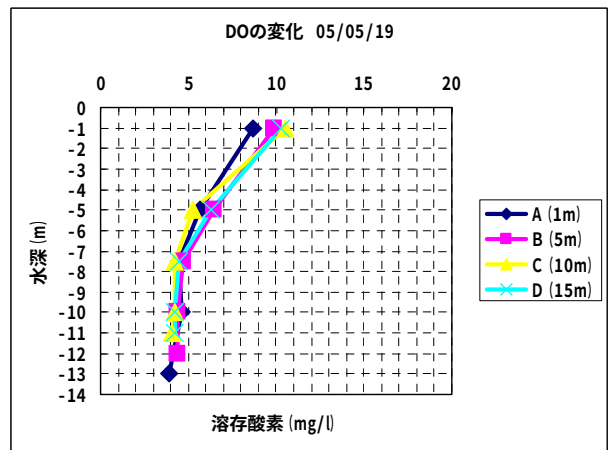


図 50 溶存酸素分布 6ヵ月後

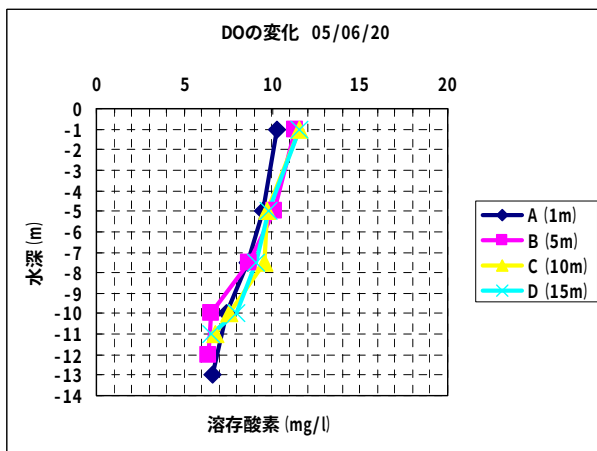


図 51 溶存酸素分布 7ヵ月後

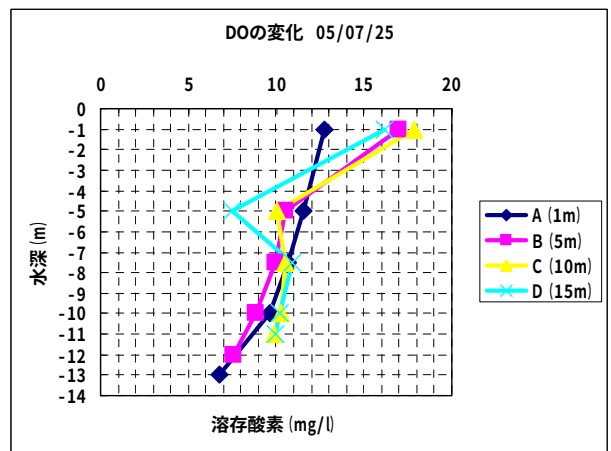


図 52 溶存酸素分布 8ヵ月後

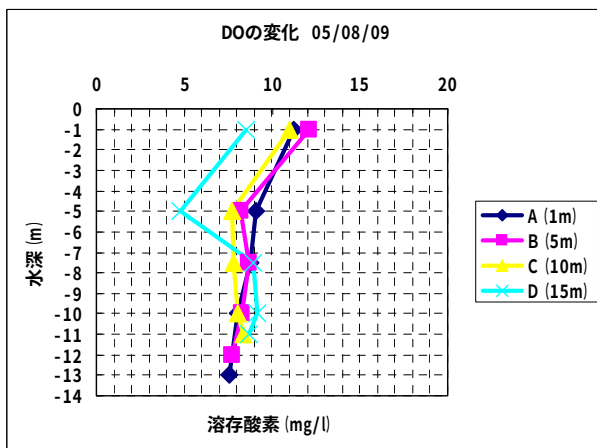


図 53 溶存酸素分布 9ヵ月後