

小河内貯水池太陽光発電事業および水質改善等調査研究

特集

山本 総一郎(やまもと そういちろう)

小野 正敏(おの まさとし)

1 まえがき

都市部の水道事業体では、河川や湖沼の水質悪化に対応するため、オゾンや活性炭を使った高度浄水処理の導入などのさまざまな取組みを行って「安全でおいしい水」の確保に努めている。そのような状況の中で、東京都水道局と富士電機(株)〔現在は富士電機システムズ(株)〕は、水質保全の研究の一環として藻類を回収・処理し水系外へ排出するシステムの調査研究を、「環境にやさしいエネルギーでやさしい環境を保全する」ことを基本構想として計画した。使用するエネルギーは、藻類の活動と太陽の日射に密接な関係があること、調査研究場所である小河内貯水池が太陽電池の設置できる広大な湖面を持っていることから、太陽光で発電したエネルギーで藻類を回収・処理する方式を採用した。

これは「東京都エネルギービジョン」の「循環型社会づくりに向けた環境に配慮した施策の推進」を具現化し、あわせて新エネルギーの普及と水源の水質保全対策の促進も兼ねた新しい取組みの一環でもある。

1998年度に設備を設置し、1999～2002年度の4年間で次の調査研究を共同で行った。

- 1) 太陽光発電システムの貯水池設置に関するもの
 - a) 台船(浮上式太陽電池架台)の構造、強度および係留方法に関するもの
 - b) 発電および藻類除去システムの稼動状況に関するもの
- 2) 藻類回収除去システム機能および性能に関するもの
- 3) 電動船の運行に関するもの

本稿では、4年間の調査研究のうち、太陽光発電システムおよび電動船に関する調査研究結果を紹介する。

2 研究内容の概要

2.1 陸上設置太陽光発電設備

研究設備は、大きく分けて下記の三つから構成されている。

- 1) 陸上基地局設置太陽光発電設備(図1,表1)
- 2) 湖面設置太陽光発電設備・水質保全装置(図2,表2)
- 3) 電動船「ひだまり」太陽光発電設備(図3,表3)

図1 陸上基地局設置太陽光発電設備



A7530-19-12

表1 陸上基地局設置太陽光発電設備などの仕様

構成機器	仕様項目	仕様
太陽電池	種類	多結晶
	モジュール定格出力電力	125W程度
	効率	13%
	総定格出力電力	約125kW
太陽電池取付け	据付け傾斜角度	10度
	据付け方位角	-30度
パワーコンディショナ	運転方式	系統連系方式
	インバータ定格容量	125kVA
	定格電圧	3 3W 210V, 50Hz
防災用パワーコンディショナ	運転方式	独立または系統連系方式
	インバータ定格容量	独立時: 1.5kVA 連系時: 3kVA
	定格電圧	独立時: 1 2W 101V 連系時: 1 3W 202V 50Hz
蓄電池	種類	シール型鉛蓄電池(MSE)
	総容量	100Ah
	セル数	34セル



山本 総一郎

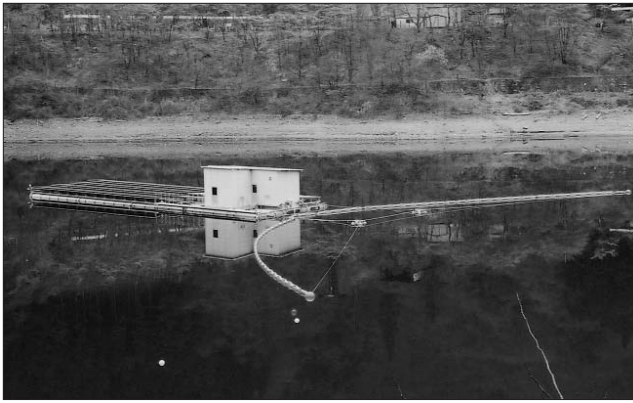
上下水道用電気・計装システムのエンジニアリング業務に従事。現在、富士電機システムズ(株)環境システム本部水処理統括部首都圏技術部長。電気学会会員。



小野 正敏

上下水道用電気・計装システムのエンジニアリング業務に従事。現在、富士電機システムズ(株)環境システム本部水処理統括部首都圏技術部。

図2 湖面設置太陽光発電設備



A7530-19-3

図3 電動船「ひだまり」太陽光発電設備



A7530-19-19

表2 湖面設置太陽光発電設備などの仕様

構成機器	仕様項目	仕様
太陽電池 (多結晶)	種類	多結晶
	モジュール定格出力電力	約125W
	効率	13%
	総定格出力電力	約25kW
太陽電池 (アモルファスシリコン)	種類	アモルファスシリコン
	モジュール定格出力電力	約80W
	効率	7%
	総定格出力電力	約3kW
太陽電池取付け	架台形状	鋼管フロート式箱型台船
	据付け傾斜角度	5度
パワー コンディショナ (多結晶用)	運転方式	独立方式
	インバータ定格容量	30kVA
	定格電圧	3 3W 210V, 50Hz
パワー コンディショナ (アモルファスシリコン用)	運転方式	独立または系統連系方式
	インバータ定格容量	独立時: 1.5kVA 連系時: 3kVA
	定格電圧	3 3W 202V, 50Hz
蓄電池	種類	ソーラー用シール型鉛蓄電池(SLM)
	総容量	300Ah
	セル数	144セル
システム	制御	ストリング制御

陸上設置太陽光発電設備は、太陽電池が「奥多摩水と緑のふれあい館」前の駐車場の屋根として設置されている。発生した直流電力は集電箱でまとめられて、パワーコンディショナに接続され交流に変換されて、ふれあい館において東京電力(株)の電力系統と連系運転を行っている。発電電力は、電動船「ひだまり」の運行期間には、搭載されている蓄電池の充電に利用され、ひだまりの動力源として使用される。ひだまりの充電電力以上に発電した場合やひだまり休止期間には、ふれあい館へ電力供給され、余剰分は電力会社系統へ逆潮流も可能で、災害時には、屋外の防災用蓄電池に充電された電力を使って非常用照明電源としても利用できる。

表4に調査研究期間中の発電状況を示す。また、発電電

表3 電動船「ひだまり」太陽光発電設備などの仕様

構成機器	仕様項目	仕様
船体	型式	電動双胴船 (主要材質:アルミニウム)
	寸法概要	幅4m×長さ11m×高さ1.5m
	排水量	約17t
	速度	約4ノット
	主要搭載機器	太陽光発電設備、蓄電池、駆動装置、操舵装置、DGPS装置、堆砂(たいさ)測量装置(魚群探知機)など
太陽電池	種類	アモルファスシリコン
	総定格出力電力	約1.2kW
太陽電池取付け	取付け場所	船体屋根および側面
パワー コンディショナ	運転方式	独立方式
	インバータ定格容量	15kVA
	定格電圧	3 3W 210V, 50Hz
蓄電池	種類	鉛蓄電池(BE)
	総容量	800Ah
	個数	162セル

力の使用状況を表5に示す。

2.2 湖面設置太陽光発電設備・水質保全装置

本設備および装置は、奥多摩湖上流河川である小菅川と丹波川が流入する付近にワイヤにて係留して湖面に浮かべた台船上に設置している。

台船上の太陽電池で発電した電力は交流に変換した後、藻類を回収する水質保全装置用の動力源などとして使用され、災害時には避難場所(東京都川野駐車場)での非常用照明電源として使用できるように蓄電池設備を備えている。台船設備は、監視制御電源も含めて、使用電力をすべて太陽電池およびその充電電力(蓄電池)から得る独立電源システムとなっている。

表6に調査研究期間中の発電状況を示す。陸上設置太陽光発電装置に比べると発電電力量と設置容量の比率が低くなっているが、これは後述するストリング制御により発電量を制限しているためである。

表4 陸上設置150kW多結晶太陽光発電設備発電電力

	1999年度			2000年度			2001年度			2002年度			合計		
	有効日数 (日)	発電量 (kWh)	日発電量 (kWh/日)	有効日数 (日)	発電量 (kWh)	日発電量 (kWh/日)	有効日数 (日)	発電量 (kWh)	日発電量 (kWh/日)	有効日数 (日)	発電量 (kWh)	日発電量 (kWh/日)	有効日数 (日)	発電量 (kWh)	日発電量 (kWh/日)
4月	-	-	-	13	5,545	427	6	1,609	268	29	10,854	374	48	18,008	375
5月	-	-	-	23	10,630	462	31	13,395	432	31	11,363	367	85	35,387	416
6月	-	-	-	23	10,442	454	30	10,203	340	30	10,143	338	83	30,788	371
7月	8	3,845	481	21	8,877	423	21	8,804	419	31	12,215	394	81	33,741	417
8月	31	11,118	359	24	8,797	367	31	9,547	308	30	13,151	438	116	42,613	367
9月	28	7,842	280	26	8,087	311	11	2,329	212	24	6,018	251	89	24,276	273
10月	22	7,374	335	18	4,107	228	29	8,503	293	22	7,733	352	91	27,717	305
11月	22	7,122	324	28	7,483	267	29	8,969	309	26	8,386	323	105	31,960	304
12月	31	8,164	263	5	1,149	230	31	9,085	293	28	6,715	240	95	25,113	264
1月	28	8,308	297	30	8,211	274	28	8,342	298	30	8,800	293	116	33,661	290
2月	29	12,591	434	27	10,661	395	27	10,082	373	26	9,272	357	109	42,606	391
3月	10	3,990	399	12	4,538	378	8	2,335	292	23	9,463	411	53	20,326	384
合計	209	70,354	337	250	88,527	354	282	93,202	331	330	114,113	346	1,071	366,196	342

表5 発電電力の使用状況

項目	太陽光発電設備				水と緑のふれあい館			
	発電電力量	ふれあい館からの受電電力量	ふれあい館への送電電力量	実験設備電力量	電力会社からの受電電力量	電力会社への売電電力量	館内設備電力量	太陽光発電寄与率
1999年度	100%	-6%	98%	7%	-234%	13%	314%	25%
2000年度	100%	-8%	97%	11%	-	-	-	-
2001年度	100%	-3%	45%	59%	-193%	14%	222%	13%
2002年度	100%	-5%	94%	12%	-169%	12%	245%	31%
平均	100%	-6%	84%	22%	-199%	13%	260%	23%

注1 電力量は発電電力量を100%として基準化し受電電力を-（マイナス）表示とした。
 注2 実験設備電力量はひだまり充電などの消費電力の集計値である。
 注3 太陽光発電寄与率は館内負荷への太陽光発電設備からの供給電力を館内設備電力量で除して求めた。

表6 湖面設置25kW多結晶太陽光発電設備発電電力

	1999年度			2000年度			2001年度			2002年度			合計		
	有効日数 (日)	電力量 (kWh)	日発電量 (kWh/日)	有効日数 (日)	電力量 (kWh)	日発電量 (kWh/日)	有効日数 (日)	電力量 (kWh)	日発電量 (kWh/日)	有効日数 (日)	電力量 (kWh)	日発電量 (kWh/日)	有効日数 (日)	電力量 (kWh)	日発電量 (kWh/日)
6月	-	-	-	30	1,448	34	30	1,448	48	9	234	26	39	1,682	43
7月	-	-	-	31	1,844	34	29	1,723	59	29	1,475	51	58	3,198	55
8月	16	548	34	31	1,119	34	25	744	30	27	1,353	50	99	3,764	38
9月	25	752	30	30	804	34	27	612	23	28	946	34	110	3,114	28
10月	9	214	24	29	860	34	17	440	26	23	696	30	78	2,210	28
合計	50	1,514	30	151	6,075	34	128	4,967	39	116	4,704	41	384	13,968	36

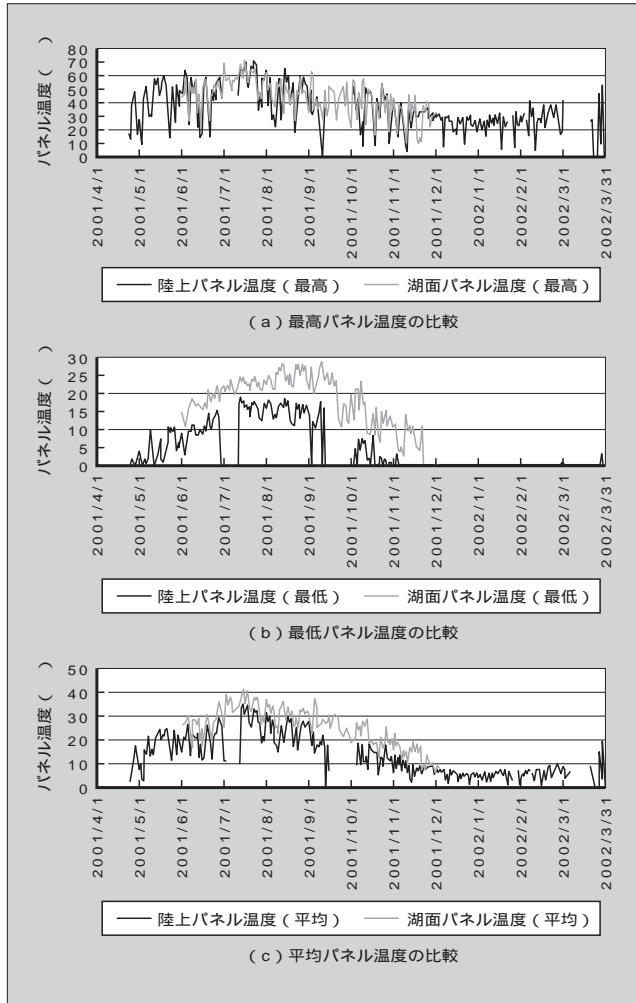
2.3 電動船「ひだまり」

台船設備が湖面上に設置された設備であるため、水質保全装置で回収した藻類のケーキを陸上へ運搬するなど、湖面を移動する目的を持っている。ひだまりに搭載した1.2kWのアモルファスシリコン太陽電池での発電電力と陸上設備からの蓄電池への充電電力を、航行の際の動力・制御電源としている。

陸上設置太陽光発電設備と湖面設置太陽光発電設備との

設置状況における差異が現れた事象として、太陽電池パネル温度の差が挙げられる。図4にパネル温度の比較を示すとおり、最高温度の差はほとんどなく、最低温度で最大14℃、平均温度で最大15℃ほど湖面設置のパネル温度が高い。最高気温が最大で9℃、最低気温が最大で3℃、平均気温が最大で5℃湖面の方が低いにもかかわらず、湖面設置の太陽電池パネルの最低温度と平均温度が高いのは、湖面に近接した台船に設置した方式より駐車場の屋根として湖岸に設置した方式の方が風などの外気による冷却効果

図4 太陽電池パネル温度の比較



を十分に利用できた結果と推察する。

③ 太陽光発電システムの貯水池設置に関する調査研究

3.1 台船（浮上式太陽電池架台）の構造，強度および係留方法に関する調査

1) 構造および係留方法

湖畔の3か所にアンカーを打ち込み，アンカーと台船をワイヤでつなぐといった係留方法を採用した。

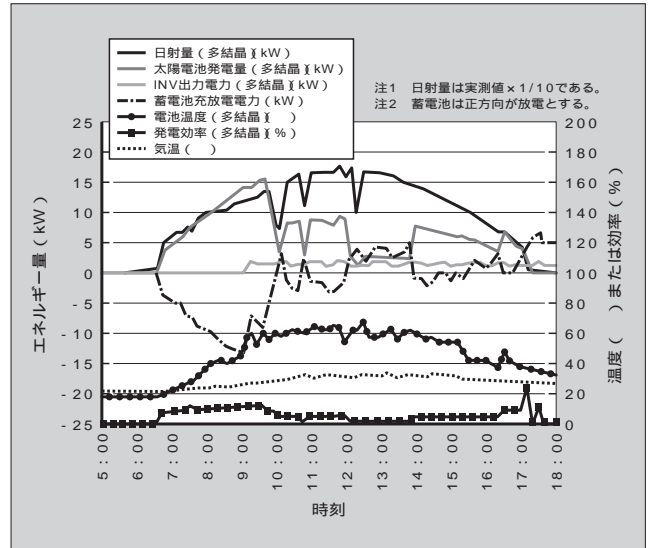
2) 期間中の係留状況（強度の検証）

期間中，何度かの台風もあったが，ワイヤ断裂，台船の破損，ひずみなどの問題は発生しなかった。また，ある程度の強風時であっても台船の揺れはほとんどなく，設備運転などに支障をきたさなかった。設備のうち係留ワイヤを船が横断するための通船ゲートは，予防保全として補強を行った。

3) 台船係留可能水位

設計上の係留可能水位は台船係留地点でEL（海拔）+506m（非常湧水水位）から526.5m（満水水位）である。調査期間中にEL+510m程度まで水位が下がった時期があったが係留状況に問題は生じなかった。また，EL

図5 湖面設置多結晶太陽電池特性（9月1日，晴れ）



+506m以下となった場合にはワイヤを繰り出すことにより水位変動に対応できるように考慮されている。

3.2 発電電力および藻類除去システムの稼動状況に関する調査

1) 運転日数および電力量

25kW多結晶型太陽電池のインバータ出力電力量（設備運用期間のみ）は表6に示したとおりであるが，日数は実験や設備不具合などによりデータ欠損となった日を除いた有効日数である。

2) 設備運転停止制御方法の検討

2000年度までは朝方（9：00～10：00ごろ）にシステムを起動，夕方（15：00～16：00ごろ）に停止し，その間，日射量が一定値以上あれば藻類処理装置を運転するという運用を自動制御にて行った。ただし，インバータはプログラブルコントローラおよびロガーへの電源供給のため，24時間運転を継続した。2001年度からは蓄電池電力の省力化を目的として，制御方法を見直した。最終的な設備運転停止自動制御方法の基本的考え方を以下に述べる。

a) 多結晶用30kVAインバータ

設定時刻により自動的に運転-停止を行う（夜間は停止）

b) 藻類処理装置

蓄電池残量が59%以上，かつ蓄電池充電電流が10A以上が成立で自動運転，56%以下で自動停止する。

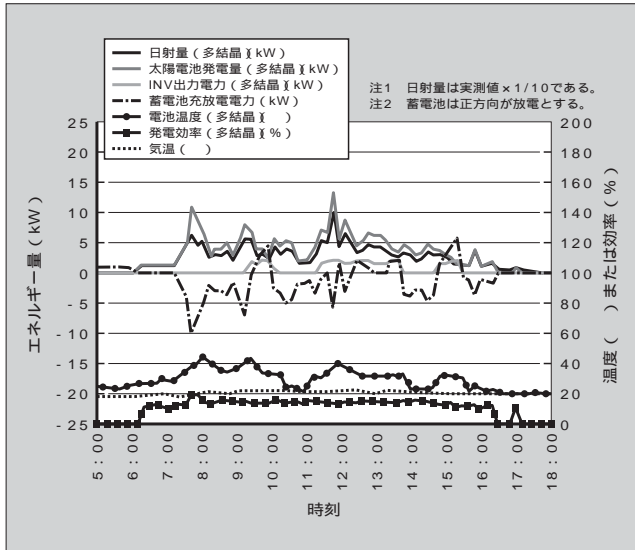
自動停止後1時間は自動運転不可となるようソフトウェア的なインタロックを設ける。

3) 運転状況

図5に晴れの日，図6に曇りの日の太陽電池設備の発電状況をそれぞれ示す。晴れの日の場合，蓄電池は10：00ごろに満充電状態になり，その後微量な充放電を繰り返し藻類処理装置の安定運転に寄与している。電池が満充電付近になると蓄電池電圧が上がり，ストリング制御

特集

図6 湖面設置多結晶太陽電池特性(9月17日,曇り)



により太陽電池 - インバータの電気回路の一部が切となるため、見掛け上、太陽電池発電量が下がり、太陽電池効率が低くなる。一方、曇りの日でも蓄電池の充放電により安定した装置運転を行うことができた。また、曇りの日は日射量と太陽電池発電量の推移が一致しており、太陽電池効率がほぼ 10 %程度をキープしているが、ストリング制御が行われていないとこのような状況になる。

藻類処理装置の運転時間は天候が良い日で1日12時間程度であった。なお、藻類処理装置の全負荷容量は約12 kW (一部間欠運転負荷)である。

4 電動船の運行に関する調査研究

4.1 運行実績

ひだまりの運行回数および総運行時間を表7に示す。

初年度では1回の蓄電池満充電でダム管理事務所付近一船間(片道約30分)を2往復することができたが、蓄電池の劣化予想に近く2002年度には1往復強でバッテリー電圧低下警報が発生するまでに放電能力が低下した。

4.2 性能評価

運行速度は、設計値4ノットに対し4.5ノット(1ノット=約2km/h)であった(速度計測時乗員数:4人)。操作性については、双胴船であるため、舵応答性に多少難があったが、初心者でも数時間程度の練習で棧橋との発着ができるようになった。加速性については、同容量のエンジン船と同レベルの性能であった。

4.3 DGPSによる自動運行の研究

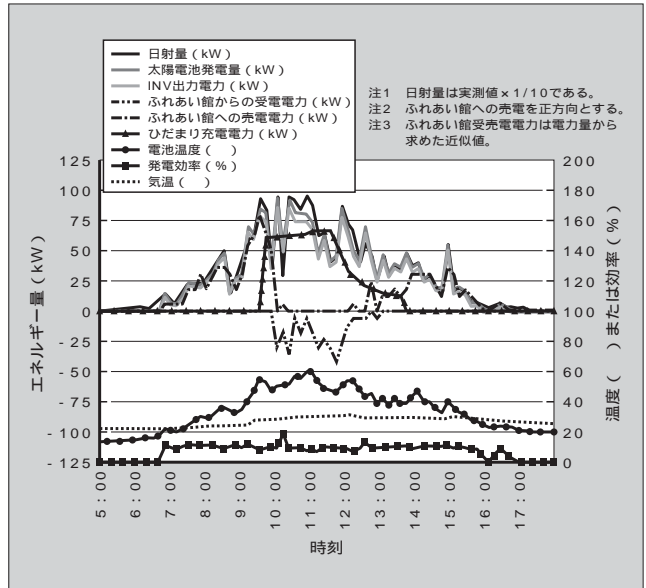
1) DGPSの概要

DGPS (Differential Global Positioning System) とは、あらかじめ正確に位置が計測されている場所(基準点)において、GPS受信機により測定した位置情報と基準点の位置情報の差分、すなわち測定誤差値(ディファレンシャ

表7 電動船の運行状況

	1999年度	2000年度	2001年度	2002年度	合計
運行回数(回)	22	16	25	8	33
総運行時間(h)	55.6	25.64	48.32	16	64.32
平均運行時間(h/回)	2.5	1.6	1.9	2.0	1.9

図7 陸上基地局設置太陽電池特性(8月26日,晴れ,電動船充電あり)



ルデータ)を検出し、そのデータを無線航行陸上局が中波の電波に乗せて船側に伝送するものである。本システムを利用するとその精度が数m程度に向上する。このDGPSを利用し、あらかじめ設定したルートを実行するシステムについて性能の研究を行った。基地局(基準局)はすでに別船のために設置、使用されているものを使用した。

2) 自動運行システムの性能評価

小河内貯水池管理事務所から台船までの運行で、常に3か所の基地局のいずれかで補正電波を受信し、船発着時、通船ゲート通過時、および流木など予測できない障害物の回避以外は同機能による自動運航を実現できた。運行設定ルートと実際の運航ルートの誤差は目測で数m程度であった。これは装置誤差(約1m)に加え船の舵操作応答性の悪さも原因と思われる

4.4 陸上設置太陽光発電設備の電動船充電状況

図7に陸上設置太陽光発電設備の発電状況を示す。雲による日陰で断続的に発電量が落ち込む中、10時ごろから電動船の充電を開始している。それまでは発電電力のほとんどをふれあい館に送電しており、充電を開始しても発電電力を充電し余剰分をふれあい館に送電している状況である。その後日陰により発電電力が減少する時間は不足電力をふれあい館から部分的に受電している。雲の日陰が弱い

特集

状況であれば、ふれあい館から受電せずに充電でき、充電時間は約4時間である。

また、発電効率は理論上パネル温度25℃が最高効率点となる。パネル温度の上昇とともに効率が徐々に低下し、パネル温度の低下とともに徐々に向上している。

⑤ あとがき

小河内貯水池上流地域およびその上流に位置する小菅川と丹波川および上流から流れてくる藻類を回収するといった狙いで2本の川の合流地点付近に湖面設置太陽光発電設備・水質保全装置を設置した台船を係留した。4年間の調査で、設備の稼動状況についてはほぼ期待どおりの結果が得られた。

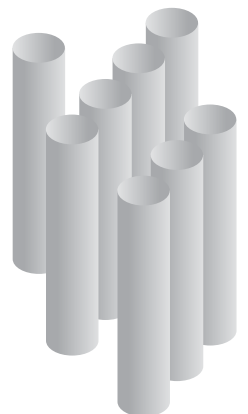
電動船「ひだまり」についても実験船としては期待どおりの成果が得られた。陸上設置太陽光発電設備との充電電

力の授受、陸上設置太陽光発電設備の系統連系についても期待どおりの成果が得られた。電動船はコスト、充電設備の簡素化、蓄電池残量不足時の対応方法など、実用レベルにするにはクリアしなければならない問題が幾つかあるが、今後蓄電池や太陽電池の低価格化、軽量化、高効率化が進めば電動船実用化の可能性は十分にある。本稿が太陽光発電設備の導入の一助となれば幸いである。

最後に長期間の本調査研究を共同で実施するにあたって、多くのご指導、ご助言、ご協力をいただいた東京都水道局の関係各位に感謝申し上げる次第である。

参考文献

- 1) 蟹江範雄，藤田満．太陽光発電システムの現状と展望．富士時報．vol.73, no.4, 2000, p.244-248.
- 2) 永田勝也ほか．公共施設におけるエネルギー問題取組現状と展望．電気学会技術報告．no.799, 2000, p.37.





*本誌に記載されている会社名および製品名は、それぞれの会社が所有する
商標または登録商標である場合があります。