

複数年度の海水使用量と電気料金の減少値から推定した海水単価 (栽培漁業センター生産事業)

木村基文*

栽培漁業センター（以下、栽培セ）では地先の海水を汲み上げた生海水と砂ろ過したろ過海水を調餌工作棟及び餌料培養棟屋上の貯水タンクに揚水し、落水圧で各水槽に海水を給水している。電気料金の大半は、海水を揚水するため作動したポンプの電気代が占めているものと推察される。

栽培セでは健苗種苗の早期生産・種苗譲渡のために2014年以降にヤイトハタの循環式種苗生産、循環式親魚養成などの技術開発に取り組み、2021年度からはヤイトハタの中間育成においても一定期間海水の循環利用を始める計画である。

そこで、2019年に続き魚種・業務別の海水使用量を測定し、電気使用量との関係を確認することで、循環飼育による海水使用量の削減効果や海水単価を推定するため、魚種・業務別の海水使用量を測定した。

材料及び方法

業務分類は、餌料培養・魚類親養成・魚類種苗生産・介類親養成・介類種苗生産・サンゴ事業・陸上養殖試験・その他とし、測定水槽総数は192水槽であった（表1）。

餌料培養で使用した日当たり海水量は、ナンノクロロプシス培養・ワムシー次培養及び栄養強化の培養記録から抽出した月毎の合計値から日割り計算して求めた。

その他の業務で使用した海水量は、月毎に全ての水槽に注水する5秒当りの海水量を5Lプラスチックビーカーで測定し、0.1L単位で記録した。測定値より算出した各水槽の日当たり使用量に月別日数を掛け、業務及び種分類毎の年間推定海水使用量を求めた。月毎の測定値には、日常的に注水する海水と短時間の注水などで使用する海水も含まれる。

魚類の親魚養成、種苗生産～中間育成は、マダイ・ハマフエフキ・ヤイトハタ・スギ、介類の親養成、種苗生産～中間育成は、ヒメジャコ・ヒレジャコ・シラヒゲウニの種別に測定し合計した。サンゴ事業は、イシサンゴ類の種苗量産技術開発事業に使用した海水を集計した。陸上養殖試験は、半閉鎖循環式陸上養殖試験において注水した海水とした。その他は、チャイロマルハタなど魚類の種苗生産、不稔性アナアオサなど

海藻の培養、ヒメジャコ人工基板、交替水槽への注水、生物ろ過ろ材への注水、市場出荷魚の畜養などであった。

月毎の契約電力・最大使用電力・電気量・電気料金は、利用月の1月後に電力会社の検針票に示された数値を使用した。

結果及び考察

(1) 業務別年間海水使用量の変化

年度及び業務毎の海水使用量を図1、表1に示す。また、年度毎の契約電力・電気使用量・電気料金を表2に示す。2018～2020年度にかけ年間海水使用量は1,062千kLから603千kLに約40%減少した。電気使用量は2018年度622千kWh

表1 年度及び業務毎の年間海水使用量とその割合

業務分類	2018年度		2019年度		2020年度		測定水槽数(槽)
	使用量(千kL)	割合(%)	使用量(千kL)	割合(%)	使用量(千kL)	割合(%)	
餌料培養	5	0.5	5	0.6	4	0.6	11
魚類親養成	206	19.4	239	26.7	161	26.8	9
魚類種苗生産	192	18.1	125	14.0	62	10.4	35
介類親養成	104	9.8	77	8.6	58	9.6	10
介類種苗生産	284	26.8	204	22.8	251	41.7	124
サンゴ事業	124	11.7	111	12.4	0	0.0	0
陸上養殖試験	44	4.1	44	4.9	18	3.0	3
その他	102	9.6	90	10.0	48	8.0	0
合計	1,062	100	894	100	603	100	192

表2 年度毎の年間電気使用量と電気料金

年度	2018	2019	2020
契約電力* (kW)	184	135	123
電気量 (kWh)	622,598	531,570	465,043
電気料金 (円)	13,543,011	10,938,413	9,050,507

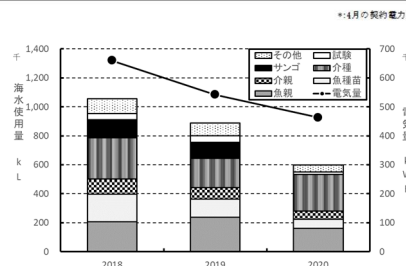


図1 年度毎の海水使用量と電気使用

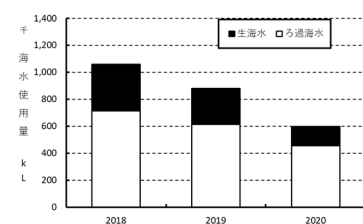


図2 年度毎の生海水と砂ろ過海水の使用量

*E-mail : kimuramt@pref.okinawa.lg.jp 現所属：水産海洋技術センター石垣支所

から2020年度465千kWhと約30%減少した。

年度毎の生海水と濾過海水の使用量を図2に示す。2019年から2020年にかけ生海水の使用量が半減している。また、2019年から2020年にかけての濾過海水の減少幅は、図1に示すサンゴ事業の使用幅とほぼ一致している。業務分類ごとの使用割合は、魚類37~41%、貝・ウニ類31~51%と同程度である(表1)。2019年から2020年の海水使用量の減少要因は、サンゴ事業の終了に伴う濾過海水使用量の減少、魚類の循環式種苗生産、親魚養成・中間育成を生簀に沖出しすることによる生海水使用量の減少と推察される。また、魚類の親魚養成・種苗生産において海水の循環利用を進めたことも濾過海水使用量の減少につながっている。一方で、長期間育成を行う介類においては濾過海水の掛け流し飼育を行うため、今後は親ウニ・稚ウニの沖出し、適正海水使用量の把握、生海水への転換、海水の循環利用等を検討する必要がある。

(2) 業務別月毎海水使用量の変化

業務毎の1日当たり海水使用量を年度別月毎に図3~5に示す。2018年度の1日当たり海水使用量は2,000~3,800kL、2019年度は1,500~3,300kL、2020年度は1,200~3,100kLの範囲であった。各年共に種苗生産の重なる春~夏に海水使用量のピークがあり、冬にかけて減少する傾向を示す。魚類の種苗生産において2020年5~9月の海水使用量が2018・2019年の同時期に比べ減少した原因は、ヤイトハタの早期循環式種苗生産、スギ・マダイの循環式種苗生産、生簀でのハマフエフキ中間育成、コロナウィルス感染症に伴う種苗要望の取り下げ等が考えられた。介類種苗の海水使用量は2019年12月~2020年3月にかけて1日当たり500kL前後に減少した。その後、2020年6月以降2倍以上の増減を繰り返し、2020年冬期にはヒメジャコ種苗を越冬させるため大幅に増加した。

年度別にみた月毎の電気使用量を図6、電気料金を図7に示す。また、2018~2020年度の月毎の最大電力と契約電力を図8~10に示した。月毎の海水使用量の増減と電気使用量の増減及び日最大電力の増減傾向は概ね一致している。

種別業務分類毎の月毎日当たり海水使用量、年間推定海水使用量を表3~5に示す。なお、海水使用量の測定頻度が少ないため、表5の2020年6月介類種苗ヒレジャコ日当たり海水使用量605kL/日が示すように日毎の飼育管理に伴い突発的に注水した測定値も含むため、必ずしも恒常的に日常飼育で使用した海水使用量で無い場合もある。年度及び月毎の契約電力、最大使用電力、電気量及び電気料金を表6に示す。

契約電力は12カ月中の最大電力であるため、6月以降の月最大使用電力は108kWでありながら2021年6月までは135kWとなる。

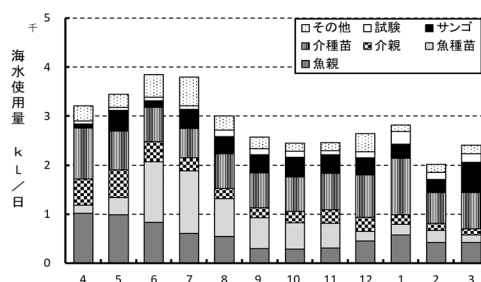


図3 2018年度の業務別日当たり海水使用量の月変化

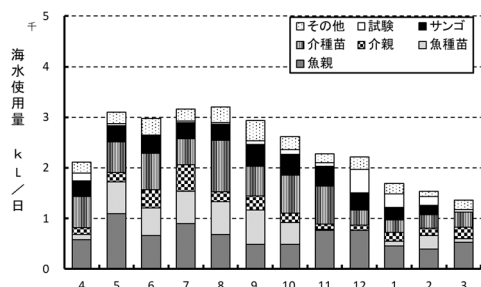


図4 2019年度の業務別日当たり海水使用量の月変化

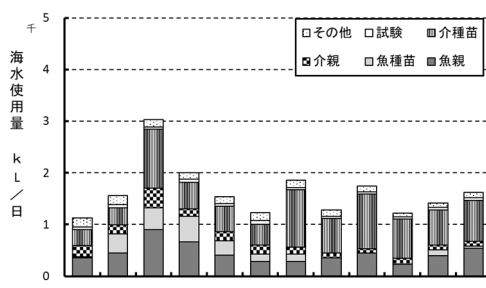


図5 2020年度の業務別日当たり海水使用量の月変化

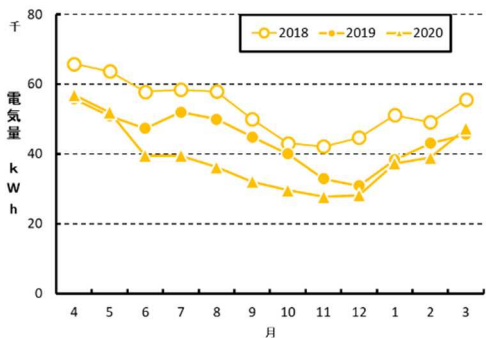


図6 2018-2020年度の電気使用量の月変化

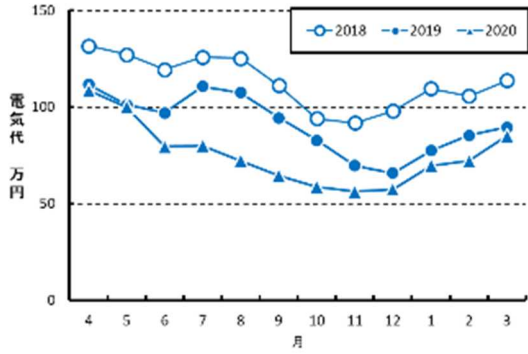


図7 2018-2020年度の電気料金の月変化

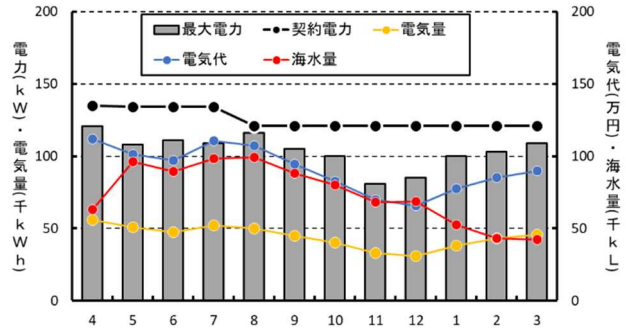


図9 2019年度の最大電力と契約電力の月変化

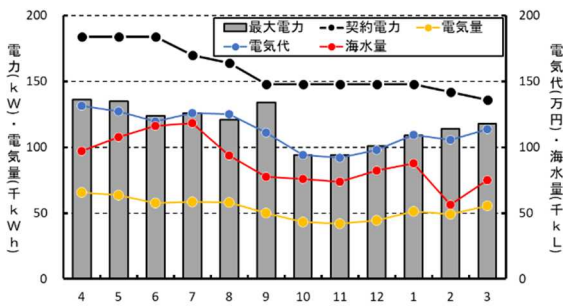


図8 2018年度の最大電力と契約電力の月変化

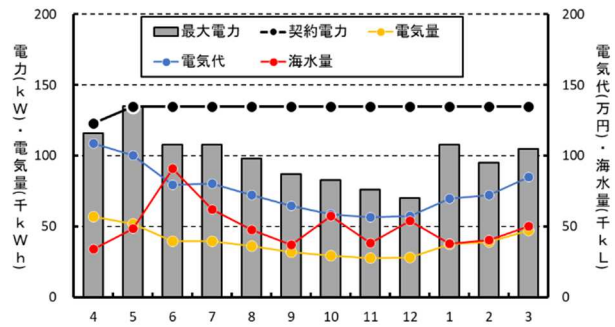


図10 2020年度の最大電力と契約電力の月変化

表3 2018年度の月毎日当たり海水使用量, 年間推定海水使用量及び業務分類毎海水使用量

		日当たり海水使用量(kL/日)												年間推定 海水使用量 (kL)	業務分類毎	
業務分類	種類	2018年						2019年			合計	割合				
	測定日	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月	(kL)	(kL)	(%)
餌料生物	ナンクロロプシス	12	18	13	13	15	5	2	2	8	7	12	12	3,632	5,167	0.5
	シオミズゴケムシ	8	9	8	4	3	3	2	2	1	3	5	4	1,535		
魚類	マダイ										118	242		11,142	205,651	19.4
	親魚	193	193									192	192	23,101		
	ヤイトハタ	829	798	638	410	354	298	288	312	333	333	228	228	153,744		
	スギ			192	192	192								17,664		
種苗 ～ 譲渡	マダイ	138									45	166	107	13,506	192,122	18.1
	ハマフエフキ	10	276	651	797	59	48						2	56,447		
	ヤイトハタ	17	74	588	334	415	581	537	503	199	173	86	45	108,135		
	スギ				152	301								14,035		
介類	ヒレジャコ									0	0	0	14	434	104,367	9.8
	親貝	152	234	196	116	110	120	87	81	98	36	74	42	40,922		
	親ウニ	375	331	218	154	91	85	152	197	194	156	55	59	63,012		
	シラヒゲウニ															
種苗 ～ 譲渡	ヒレジャコ			4	4	14	26	41	73	66	86	79	74	14,097	284,263	26.8
	ヒメジャコ	710	499	423	342	353	325	217	202	207	181	187	180	116,382		
譲渡	シラヒゲウニ	328	292	271	245	332	357	435	460	585	885	362	489	153,784		
サンゴ事業	サンゴ	83	415	135	394	358	370	401	387	349	289	273	619	124,413	124,413	11.7
陸上養殖試験		70	70	70	70	128	128	121	80	127	264	140	173	43,867	43,867	4.1
その他		308	263	467	588	300	238	166	168	371	130	159	186	101,957	101,957	9.6
月毎日当たり海水使用量合計		3,233	3,472	3,871	3,813	3,023	2,584	2,449	2,466	2,655	2,829	2,019	2,424	1,061,808		100

海水単価

表4 2019年度の月毎日当たり海水使用量、年間推定海水使用量及び業務分類毎海水使用量

業務分類	種分類	日当たり海水使用量(kL/日)												年間推定 海水使用量 (kL)	業務分類毎	
		2019年										2020年			合計 (kL)	割合 (%)
		4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月			
測定日	5/9	5/30	6/30	7/31	8/29	9/28	10/27	11/27	12/22	1/24	2/28	3/27				
餌料生物	ナンクロロプシス	17	21	6	15	10	5	7	1	15	9	3	11	3,717		
	シオミズボウムシ	7	7	4	3	2	2	2	2	2	4	3	3	1,227	4,944	0.6
魚類	マダイ								256	263	152			20,529		
	親魚															
	ハマフエフキ	104	432								48	145	221	29,068		
	ヤイトハタ	475	475	475	516	496	492	485	510	503	256	252	312	160,202		
	スギ		192	192	384	192								29,568	239,367	26.8
	マダイ										55	228	0	8,329		
	種苗															
	～															
	譲渡															
	スギ	86	387	180	311									0	29,625	
	スギ	21	238	321	325	648	670	439	24		38	35	64	86,424		
	スギ			41										1,244	125,622	14.0
介類	ヒレジャコ	17	41	43	21	24	45	12	3	38	24	0	0	8,200		
	親貝															
	親ウニ	66	86	141	194	54	31	29	28	28	31	17	48	23,043		
	シラヒゲウニ	45	52	173	276	118	204	104	69	35	121	124	187	43,837	77,215	8.6
	種苗															
	～															
	譲渡															
	シラヒゲウニ	22	54	28	73	121	24	21	16	10	10	28	40	13,711		
	ヒメジャコ	166	131	98	209	309	194	171	316	176	168	180	185	70,259		
	シラヒゲウニ	437	429	597	237	585	370	562	418	114	66	60	73	120,395	204,365	22.9
サンゴ事業	サンゴ	304	318	349	320	320	435	415	387	340	252	190	0	110,690	110,690	12.4
陸上養殖試験		157	36	9	26	26	64	93	76	463	259	177	47	43,837	43,837	4.9
その他		211	232	328	273	308	404	257	171	244	213	104	190	89,647	89,647	10.0
月毎日当たり海水使用量合計		2,135	3,131	2,987	3,184	3,212	2,941	2,596	2,277	2,230	1,706	1,546	1,381	895,687		100

表5 2020年度の月毎日当たり海水使用量、年間推定海水使用量及び業務分類毎海水使用量

業務分類	種分類	日当たり海水使用量(kL/日)												年間推定 海水使用量 (kL)	業務分類毎	
		2020年										2021年			合計 (kL)	割合 (%)
		4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月			
測定日	4/27	5/27	6/29	7/29	8/26	9/29	10/25	11/27	12/22	1/29	2/19	3/9				
餌料生物	ナンクロロプシス	19	10	8	5	3	3	3	5	13	3	8	6	2,568		
	シオミズボウムシ	7	6	4	3	2	1	2	1	2	4	3	4	1,145	3,713	0.6
魚類	マダイ										185	162	100	13,573		
	親魚															
	ハマフエフキ	97	145	204								55	107	18,389		
	ヤイトハタ	255	302	503	469	409	283	283	355	262	69	241	431	117,604		
	スギ			192	192									11,712	161,279	26.8
	マダイ										1	118	41	4,591		
	種苗															
	～															
	譲渡															
	スギ	22	237	171	69									15,288		
	スギ		138	235	314	276	149	142						38,507		
	スギ			15	118									4,088	62,474	10.4
介類	ヒレジャコ	9	7	17	14	21	14	10	12	17	17	31	31	6,055		
	親貝															
	親ウニ	45	55	41	45	38	41	36	24	33	29	30	21	13,337		
	シラヒゲウニ	169	111	328	86	112	114	93	59	31	62	55	55	38,750	58,142	9.7
	種苗															
	～															
	譲渡															
	シラヒゲウニ	31	93	605	104	156	135	434	47	55	22	14	14	52,150		
	ヒメジャコ	209	218	268	261	266	169	257	226	686	461	432	513	120,778		
	シラヒゲウニ	59	21	266	149	71	104	415	394	321	280	235	257	78,182	251,110	41.7
サンゴ事業	サンゴ	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0
陸上養殖試験		54	60	41	55	55	69	41	40	40	41	47	41	17,810	17,810	3.0
その他		178	173	147	130	137	156	145	124	116	78	60	109	47,304	47,304	7.9
月毎日当たり海水使用量合計		1,154	1,575	3,046	2,014	1,546	1,237	1,860	1,288	1,761	1,230	1,429	1,632	601,832		100

表6 年度及び月毎の契約電力、最大使用電力、電気量及び電気料金

	2018												2019		
	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3			
契約電力 (kW)	184	184	184	170	164	148	148	148	148	148	148	142	142	136	
最大電力 (kW)	136	135	124	126	121	134	94	94	101	109	114	118	118	118	
電気量 (kWh)	65,807	63,724	57,804	58,420	57,940	49,969	43,075	42,126	44,702	51,114	49,079	55,566	55,566	55,566	
電気料金 (円)	1,316,981	1,272,874	1,194,643	1,259,508	1,252,220	1,112,883	941,749	918,742	980,951	1,096,366	1,057,302	1,138,792	1,138,792	1,138,792	
	2019												2020		
	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3			
契約電力 (kW)	135	134	134	134	121	121	121	121	121	121	121	121	121	121	
最大電力 (kW)	121	108	111	109	116	105	100	81	85	100	103	109	103	109	
電気量 (kWh)	55,825	50,893	47,347	52,003	49,953	44,828	40,042	32,854	30,860	38,316	43,065	45,584	45,584	45,584	
電気料金 (円)	1,117,527	1,012,887	970,396	1,108,269	1,074,588	943,874	828,474	698,470	658,404	774,785	853,883	896,856	896,856	896,856	
	2020												2021		
	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3			
契約電力 (kW)	123	135	135	135	135	135	135	135	135	135	135	135	135	135	
最大電力 (kW)	116	135	108	108	98	87	83	76	70	108	95	105	105	105	
電気量 (kWh)	56,861	51,914	39,505	39,498	36,230	32,027	29,569	27,733	28,165	37,283	38,940	47,318	47,318	47,318	
電気代 (円)	1,086,252	1,000,528	796,064	801,269	723,000	645,377	588,033	564,527	575,424	697,670	721,702	850,661	850,661	850,661	

(3) 海水単価の推定

年度毎の海水使用量の減少が電気料金の削減に繋がり、なおかつ冷凍庫、ブロワーなど施設内のその他電気使用量が年変動しないとの仮定のもとに推定した海水1kL当りの単価を表7に示す。

2018～2019年度にかけての単年度の海水減少量は167千kL、電気量減少量は91,028kWh、電気料削減額は2,604千円であった。電気料削減額を海水減少量で割って求めた1kL海水当たりの単価は15.5円/kLとなった。同様に2019～2020年度の電気料削減額と海水減少量から求めた1kL海水当たりの単価は6.5円/kLとなった。一方、2018～2020年度にかけての複数年度の海水減少量459千kL、電気量減少量157,555kWh、電気料削減額4,492千円から求めた1kL海水当たりの単価は9.8円/kLとなった。

単年度減少値及び複数年度減少値の差から求めた推定海水単価が変わる原因は明らかでない。図8～10の折れ線グラフの示す契約電力と棒グラフで示す月毎の最大電力の差が単価に影響を与えているとも考えられる。

表7で求めた2018～2019年度の単年度の減少幅から求めた推定海水単価15.5円/kLを表1に示す2018年度の年間海水使用量1,062千kLに当てはめ、海水の取水に要した電気料金を計算すると16,458千円となり、実際の2018年度の電気料金13,543千円を22%超過した。同様に2019年度、2020年度においても推定海水単価15.5円/kLを当てはめ計算すると実際の電気料金を超過したため過大な見積もり単価と評価した(表8)。

一方、2019～2020年度の単年度の減少幅から求めた推定海水単価6.5円/kLを表1に示す2018年度の年間海水使用量

1,062千kLに当てはめ、海水の取水に要した電気料金を計算すると6,901千円となり、実際の2018年度の電気料金13,543千円の51%を占める割合となった。同様に2019年度、2020年度においても推定海水単価6.5円/kLでは実際の電気料金の50%前後を占める結果となり、低い割合と判断し過少な見積もり単価と評価した(表8)。

そこで、表7で求めた2018～2020年度の複数年度の減少幅から求めた推定海水単価9.8円/kLを表1に示す2018年度の年間海水使用量1,062千kLに当てはめ、海水の取水に要した電気料金を計算すると10,405千円となり、実際の2018年度電気料金13,543千円の77%を占める結果となった。同様に2019年度、2020年度においても推定海水単価9.8円/kLでは実際の電気料金の80%、65%を占める割合となった。

栽培セにおいて最も電気を使う設備は、重量物である海水を海面から濾過棟を通して再び高架水槽に揚水するポンプ設備と思われる。図9に示した2019年度の月毎の電気料金と海水使用量の推移を見ると、5～12月にかけて海水使用量と電気料金の増減傾向が一致している。また、1月～翌年度4月にかけては海水使用量が減少したにもかかわらず電気料金は増加しており、ボイラー稼働による温水循環ポンプ等の電力消費量が増加したためと推察される。電気料金に占める揚水に係わる使用電力量を7割前後と仮定すると、海水1kL当りの単価は10円が妥当な単価と考えられる。今後、測定年度を長くすれば電気料金に占める揚水に係わる電力量の正確な割合が求められ、正確な単価に近づく可能性もある。

海水単価は対象生物の種苗生産にかかる経費を算出する上で重要な要素となるため、引き続き測定を継続し正確な単価の推定を行う必要がある

表7 年度毎の海水使用量・電気料金の減少量から推定した海水単価

	期間	単年度減少値から求めた推定単価		複数年度減少値から求めた推定単価
		2018～2019	2019～2020	2018～2020
海水減少量	(kL)	167,662	291,477	459,139
電気量減少量	(kWh)	91,028	66,527	157,555
電気料金削減額	(円)	2,604,598	1,887,906	4,492,504
1kL海水当り電気量	(kWh/kL)	0.54	0.23	0.34
推定海水単価	(円/kL)	15.5	6.5	9.8

表8 年度毎の海水使用量・電気料金の減少値から推定した海水単価の評価

	単年度減少値より算出した単価の評価			単年度減少値より算出した単価の評価			複数年度減少値より算出した単価の評価		
	2018～2019			2019～2020			2018～2020		
	2018	2019	2020	2018	2019	2020	2018	2019	2020
海水使用量 (千kL)	1,062	894	603	1,062	894	603	1,062	894	603
推定海水単価 (円/kL)	15.5	15.5	15.5	6.5	6.5	6.5	9.8	9.8	9.8
推定電気料金 (千円)	16,458	13,859	9,341	6,902	5,812	3,917	10,406	8,763	5,906
電気料金 (千円)	13,543	10,938	9,051	13,543	10,938	9,051	13,543	10,938	9,051
海水揚水割合 (%)	122	127	103	51	53	43	77	80	65
評価	過大単価	過大単価	過大単価	過少単価	過少単価	過少単価	想定単価	想定単価	想定単価