

図-48 イマーシジョン・スーツの部位別熱抵抗 (水没、水流の影響、I型)

図-49 イマーシジョン・スーツの部位別熱抵抗 (内部浸水の影響、B型)

表-10 イマーシジョン・スーツおよび構成材料の熱抵抗

		構成材料の熱抵抗等			マネキンによる平均熱抵抗 (m²h°C/kcal)		
		材料の厚さ (mm)	熱伝導率 (kcal/m²h°C)	熱抵抗 (m²h°C/kcal)	気中	水中 ¹⁾	
イマーシジョン・スーツ	I	5.30	0.0470	0.113	0.32	0.20	
	A1	アウター	0.46	0.0581	0.008	—	—
		インナー	9.00	0.0363	0.248	—	—
		計	9.46	—	0.256	0.50	0.42
	A2	アウター	0.60	0.0501	0.012	—	—
		インナー	11.90	0.0347	0.373	—	—
		計	12.50	—	0.385	0.59	0.47
	B3	胸部 ²⁾	0.52	0.1015	0.005(22%)	—	—
		その他	5.30	0.0478	0.111(78%)	—	—
		計	—	—	0.0876	0.33	0.23
B4		6.44	0.337	0.191	0.44	—	
B5		—	—	—	0.55	0.22	
B6		—	—	—	0.40	0.20	
B7		—	—	—	0.42	0.23	
B8		—	—	—	0.58	0.36	
B9		—	—	—	0.49	0.33	
衣類	A型	下着	0.75	0.0781	0.010	—	—
		作業服	0.48	0.0599	0.008	—	—
		計	1.23	—	0.018	0.13	—
	B型	下着	0.75	0.0781	0.010	—	—
		運動服	1.03	0.0617	0.017	—	—
	計	1.78	—	0.027	0.17	—	

注1) 水中でのマネキンによる平均熱抵抗は、内部に浸水がない場合の値である。

注2) B3型の胸部(全表面積の22%)は膨脹式のため保温材は使用されていない。

実験条件での熱抵抗を示す。水中でのスーツ内部への浸水は、B3型では認められず、B4型では1.5kg認められた。従ってB3型の気中と水中での各部位の熱抵抗の差は、

抵抗の差は、スーツ表面と流体との熱伝達抵抗との差のみであるが、B4型の水中の熱抵抗は、内部浸水により減少するため、気中と水中での熱抵抗の差はB

3型の場合より増大する。

図-50は、内部への浸水量 w (kg) とスーツの平均熱抵抗の減少量 $-\Delta R$ ($m^2h^{\circ}C/kcal$) との関係を示した

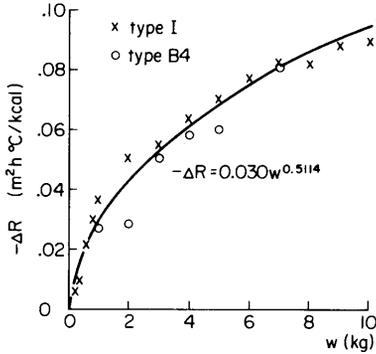


図-50 浸水によるイマーシジョン・スーツの熱抵抗の低下

表-11 手・足部の水中熱抵抗 ($m^2h^{\circ}C/kcal$)

		手部	足部
イマーシジョン・スーツ	I	0.11	0.14
	A 1	0.17	0.19
	A 2	0.15	0.31
	B 3	0.10	0.16
	B 4	0.06	0.15
	B 6	0.02	0.18
	B 7	0.07	0.14
	B 8	0.10	0.16
	B 9	0.06	0.15
衣類	薄手	0.01	0.05
	厚手	0.02	0.06

- 注1) イマーシジョン・スーツには衣類を含まない。
- 注2) 衣類とは手袋または靴下をさし、外界との熱伝達抵抗分は含まれない。

もので、スーツの種類に関係なく (23) 式で示される。

$$-\Delta R = 0.030 w^{0.5114} \dots\dots\dots (23)$$

表-10にスーツとその構成材料等の熱抵抗を示す。衣類、スーツ等の構成材料の厚さ、熱伝導率、熱抵抗をそれぞれ $d_i, \lambda_{m,i}, R_{m,i}$ 、構成材料間の空気熱抵抗を $R_{a,i}$ 、スーツ外表面と外部流体との熱伝達抵抗を R_w とすると、衣類とスーツを着用したマネキンの熱抵抗 R は、各部位の構成材料の違いを平均化して考えると、(24) 式で示される。

$$R = \sum_{i=1}^N (R_{m,i} + R_{a,i}) + R_w \dots\dots\dots (24)$$

ただし $R_{m,i} = d_i / \lambda_{m,i}$

(24) 式は、 $\sum R_{a,i}$ に R_w を加えた値は、マネキンによる平均熱抵抗 R より衣類とスーツの各構成材料の熱抵抗の和を控除した値に等しいことを示す。表-10より、構成材料間の空気と、スーツ外表面と外部空気との熱伝達による空気抵抗の和は、A, B型とも約0.20 $m^2h^{\circ}C/kcal$ であることが分かる。

表-11に手・足マネキンによるスーツの水中での熱抵抗を示す。手・足部の熱抵抗は、全身マネキンで求めた上半部、脚部の値より小さい。

4.3.2 被験者による実験

被験者の属性を表-12に示す。21人の被験者はいずれも男性で、その内16人は19~23歳の学生である。実

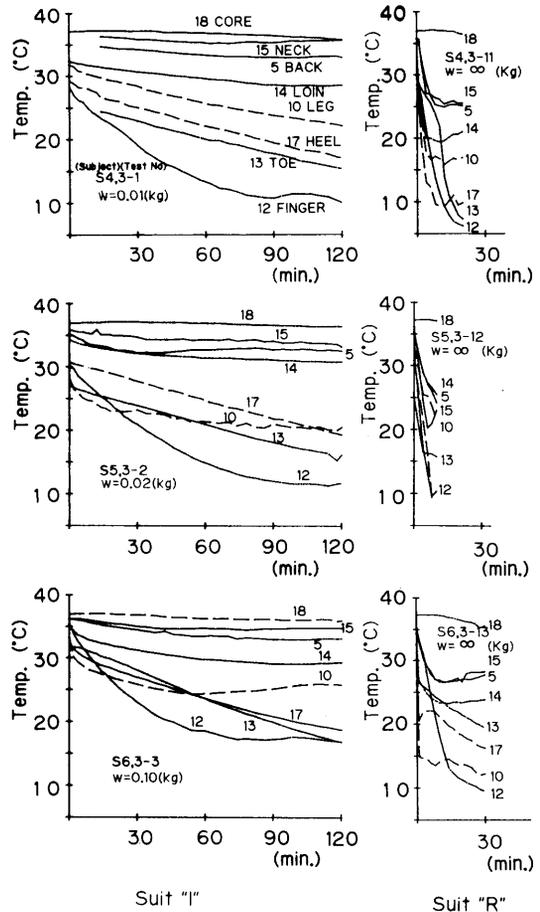


図-51 風浪下での被験者の耐寒性試験結果

表-12 被験者

被験者	年齢 (歳)	身長 (cm)	体重 (kg)	体表面積 ¹⁾ (m ²)	カウプ数 ²⁾	ローレル数 ³⁾	皮脂厚 ⁴⁾ (mm)	肥瘦率 ⁵⁾ (%)	代謝熱 ⁶⁾ (kcal/m ² h)
s 1	19	173	63	1.71	2.12	1.22	20	10.0	—
s 2	19	173	72	1.80	2.41	1.39	28	12.3	—
s 3	19	175	73	1.83	2.40	1.38	22	10.9	—
s 4	21	162	57	1.56	2.17	1.34	—	—	—
s 5	27	167	66	1.70	2.37	1.42	—	—	—
s 6	22	169	56	1.59	1.97	1.17	—	—	—
s 7	20	162	61	1.61	2.32	1.44	35	14.8	—
s 8	29	163	69	1.70	2.58	1.58	—	—	—
r 1	22	177	65	1.76	2.08	1.17	29	12.3	43.5~57.1
r 2	22	168	60	1.63	2.13	1.27	24	10.4	45.6~53.8
r 3	22	176	75	1.86	2.41	1.37	57	17.9	37.6~50.0
r 4	20	163	61	1.61	2.31	1.42	36	14.1	60.0
r 5	23	176	76	1.88	2.47	1.41	23	12.3	48.4~68.6
b 1	36	172	68	1.76	2.30	1.34	—	—	49.4
b 2	33	166	63	1.66	2.29	1.34	—	—	38.8~43.8
b 3	32	176	62	1.71	2.00	1.14	—	—	39.4~45.0
b 4	19	167	59	1.62	2.11	1.26	39	15.7	52.3~57.6
b 5	19	168	55	1.57	1.93	1.15	24	11.0	43.6~54.4
b 6	19	177	62	1.72	1.99	1.13	26	11.7	46.7~60.0
b 7	19	167	73	1.77	2.60	1.56	41	16.3	46.7~70.0
b 8	20	162	56	1.55	2.13	1.31	19	9.6	35.4~52.9

注1) 体表面積 $S_b = 88.83 \times W_b^{0.724} \times H_b^{1.72}$

2) カウプ数 $= 10^3 \times W_b / H_b^2$

3) ローレル数 $= 10^5 \times W_b / H_b^3$

4) 上腕、腹、背中部における皮脂厚の総和

5) 肥瘦率 $F = \left\{ \frac{4.57}{1.0913 - 0.00116 \times (d_a + d_b)} - 4.142 \right\} \times 100$

6) 実験直前の、20℃の室内安静時(30分以上)における代謝産熱量 M₀

但し W_b: 体重 (kg)
H_b: 身長 (cm)
d_a: 上腕部の皮脂厚 (mm)
d_b: 背中部の皮脂厚 (mm)

験は、原則として、表-9の標準実験条件のもとで表-13に示す順序で実施された^{56)33)~36)}。表-13中の熱抵抗は、いずれも衣類等を着用した水中での実験状態における値で、内部に浸水があった場合は(23)式により補正した。直腸温、手部皮膚温、足部皮膚温、平均皮膚温の降下速度は、実験時間が6時間のときはその間、6時間未満のときは実験開始より1.5時間(B型の標準実験時間)における平均値で示した。ただし、平均皮膚温 T_sは、Hardy-Duboisの7部位12点法⁵⁷⁾により、各部位の皮膚温に表面積の重みをつけて求めた平均値である。

実験番号 3-1~3-4, 3-11~3-13は、風浪による影響を調べるため、風速0.5~4 m/s、波高4~10cmの条件で船舶技術研究所の氷海船舶試験水槽で実施された³³⁾。実験時間は120分を目標としたが、図-51に示す、s4の3-11, s6の3-12, s5の3-13に示す耐水性のないR型のスーツを着用した被験者は、手・足等の寒さと痛さのため10~30分間しか耐えられず、この間、被験者の直腸温18の低下は少なかったが、末梢部の皮膚温は10℃以下になった。3-1~

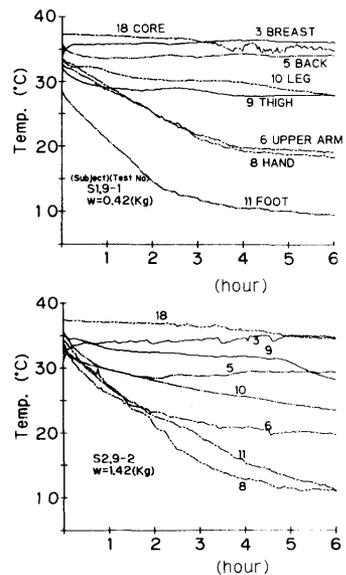


図-52 0℃、標準実験条件下での被験者の耐寒性試験結果

表-13 実験結果の概要

デー 番号	実験 番号	被 験 者	ス ーツ	水 温 ℃	時 間 min.	熱抵抗 ($m^2hC/kcal$)			代謝熱 ($kcal/m^2h$)	降下速度 (°C/h)						蓄熱速度 ($kcal/m^2h$)		放熱速度 ($kcal/m^2h$)			
						平均	手 部	足 部		面 部		手		足		平均		(1.5h)	(6h)	(1.5h)	(6h)
										(1.5h)	(6h)	(1.5h)	(6h)	(1.5h)	(6h)	(1.5h)	(6h)				
1	2-1	s7	I	0	290	.206	.111	.208		.93											
2	3-1	s4	I	0	120	.205	.117	.233		.40											
3	3-2	s5	I	0	120	.202	.117	.233		.40											
4	3-3	s6	I	0	120	.206	.117	.233		.53											
5	3-4	s8	H	0	120	.265															
6	3-11	s4	R	0	20	.088		.211													
7	3-12	s5	R	0	10	.088		.211													
8	3-13	s6	R	0	30	.088		.211													
9	5-1	r1	A1	0	360	.416	.272	.251	45.16	.20	.12	5.47	3.87	3.07	2.70	1.16	.73	-15.94	-8.67	14.63	4.47
10	5-3	r2	A1	0	360	.416	.272	.251	50.06	.47	.30										
11	5-4	r5	A1	0	300	.416	.272	.251	60.67	.53	.40										
12	5-5	r1	A2	0	360	.470	.238	.369	51.38	.40	.22										
13	5-6	r2	A2	0	360	.470	.238	.369		.33	.22										
14	5-7	r3	A2	0	360	.470	.238	.369	47.36	.60	.22										
15	5-8	r4	A2	0	180	.470	.238	.369	60.03	.53											
16	5-9	r5	A2	0	320	.470	.238	.369	68.64	.47											
17	6-1	b2	A1	0	360	.416	.191	.297	38.80	.20	.08	-3.13	1.73	.87	1.60	-.67	.28	4.12	-3.66	-7.72	3.01
18	6-2	b3	A1	0	360	.416	.191	.297	39.40	.13	.15	-2.20	2.15	.87	1.45	-.27	.22	-4.01	-4.01	5.51	7.45
19	6-3	b1	A2	0	360	.470	.170	.415	49.40	.33	.22	2.33	1.93	.87	1.72	-.40	.22	-2.94	-6.43	-1.23	.79
20	6-4	b2	A2	0	360	.470	.170	.415	43.80	.20	.08	4.13	3.22	3.13	2.25	.20	.35	-6.31	-4.01	4.41	6.46
21	6-5	b3	A2	0	360	.470	.170	.415	45.00	.33	.15	4.53	3.42	1.67	2.42	-.33	.30	-3.41	-5.33	-.32	-.28
22	7-1	r3	A1	0	360	.416	.223	.276	49.98	.50	.20	1.80	1.57	2.20	1.98	1.07	.68	-22.92	-11.14	13.44	.84
23	7-2	r5	A1	0	267	.416	.223	.276	48.38	.62		1.53		1.67		.67		-21.49		13.66	
24	7-3	r3	A2	0	360	.470	.199	.394	45.19	.34	.19	4.40	3.35	3.27	2.92	1.33	.92	-22.28	-13.26	17.53	9.24
25	7-4	r5	A2	0	336	.470	.199	.394	53.15	.54	.63	4.33	3.38	3.80	2.38	.93	.66	-22.65	-17.94	14.40	8.30
26	7-5	r1	B5	5	90	.219			57.11	.17		5.87		6.20		1.40		-17.69		36.40	
27	7-6	r2	B5	5	90	.219			53.78	.11		7.67		3.20		1.80		-20.39		44.51	
28	7-7	r3	B5	5	90	.219			43.49	.55		7.53		6.27		2.13		-35.70		39.62	
29	7-8	r5	B5	5	90	.219			51.30	.91		4.27		4.87		1.60		-38.40		39.22	
30	7-9	r1	B6	5	90	.200	.103	.273	47.13	.21		5.80		6.33		2.33		-28.02		51.31	
31	7-10	r2	B6	5	90	.200	.103	.273	48.29	.49		6.87		4.67		1.80		-28.14		51.49	
32	7-11	r3	B6	5	90	.200	.103	.273	37.61	.44				5.93		2.53		-37.72		40.45	
33	7-12	r5	B6	5	90	.200	.103	.273	53.61	.94		7.53		5.33		3.07		-55.53		56.76	
34	7-13	r2	B6	5	90	.200	.103	.273		.56		8.13		5.93		2.93		-40.88			
35	7-14	r3	B6	5	90	.200	.103	.273	42.25	.44		6.40		5.60		3.00		-42.86		46.06	
36	7-15	r5	B6	5	90	.200	.103	.273	50.23	.77		7.07		5.80		2.80		-46.54		51.14	
37	7-16	r1	B7	5	90	.231	.131	.228	43.53	.31		8.40		6.27		2.80		-34.97		62.30	
38	7-17	r2	B7	5	90	.231	.131	.228	51.13	.55		7.67		5.47		2.47		-35.92		42.99	
39	7-18	r3	B7	5	90	.231	.131	.228	41.16	.22		7.73		6.80		3.67		-45.28		47.29	
40	7-19	r5	B7	5	90	.231	.131	.228	49.00	1.20		6.40		5.13		2.87		-59.18		72.80	

データ番号	実験番号	被験者	スーツ	水温	時間	熱抵抗 (m ² h°C/kcal)			代謝熱 (kcal/m ² h)	降下速度 (°C/h)				蓄熱速度 (kcal/m ² h)		放熱速度 (kcal/m ² h)					
						平均	手	足		直腸		手		足		(1.5h)	(6h)	(1.5h)	(6h)		
										(1.5h)	(6h)	(1.5h)	(6h)	(1.5h)	(6h)						
41	7-20	r1	B8	5	90	.355	.170	.247	52.20	.15	6.53	5.20	2.80	-31.53	83.35						
42	7-21	r2	B8	5	90	.355	.170	.247	45.84	.61	6.87	7.33	2.87	-41.30	79.39						
43	7-22	r3	B8	5	90	.335	.170	.247	42.25	.15	6.87	5.80	3.33	-39.97	50.65						
44	7-23	r5	B8	5	90	.355	.170	.247	58.35	.84	5.60	5.60	3.13	-54.00	57.09						
45	8-1	b4	A1	0	360	.416	.237	.278	54.80	-.07	.05	5.40	3.73	6.60	3.57	1.71	.96	-15.76	-8.44	8.63	8.97
46	8-2	b5	A1	0	360	.416	.237	.278	50.20	-.07	.07	5.80	3.77	5.40	2.40	2.13	.98	-18.96	-9.50	8.83	9.23
47	8-3	b6	A1	0	360	.416	.237	.278	48.70	.20	.12	6.27	3.75	6.93	2.80	2.30	.82	-26.85	-9.25	24.32	8.11
48	8-4	b7	A1	0	360	.416	.237	.278	59.10	.27	.08	5.20	3.93	7.33	3.83	1.50	.70	-22.90	-5.95	22.93	16.34
49	8-5	b4	A2	0	360	.470	.222	.394	52.30	.33	.12	7.80	3.63	3.60	2.25	1.39	.78	-20.68	-7.99	15.58	.17
50	8-6	b5	A2	0	360	.470	.222	.394	53.80	0.00	.13	3.67	2.77	3.40	2.58	1.03	.79	-9.77	-8.18	-4.46	-2.30
51	8-7	b6	A2	0	360	.470	.222	.394	60.00	.20	.17	7.20	3.68	3.60	3.38	1.89	1.07	-22.82	-12.89	.75	-5.18
52	8-8	b8	A2	0	360	.470	.222	.394	35.40	.07	.07	5.87	3.50	4.60	2.75	1.58	.90	-16.97	-8.45	27.77	20.63
53	8-9	b4	B5	0	90	.219			52.90	.40		8.47		7.87		3.46		-42.67		48.90	
54	8-10	b5	B5	0	90	.219			43.80	.27		7.53		8.33		3.11		-34.73		51.80	
55	8-11	b6	B5	0	90	.219			51.30	.93		10.40		10.80		4.15		-60.01		74.58	
56	8-12	b8	B5	0	90	.219			52.90	.27		9.80		7.73		3.69		-41.83		47.50	
57	8-13	b5	B6	0	90	.200	.196	.273	52.90	.33		8.27		6.20		3.91		-43.70		43.67	
58	8-14	b6	B6	0	90	.200	.196	.273	46.70	.40		11.53		8.07		4.84		-56.08		65.41	
59	8-15	b7	B6	0	90	.112			73.10	.13		9.67		7.80		6.84		-79.75		124.32	
60	8-16	b7	B6	0	90	.200	.196	.273	49.80	-.13		7.80		6.40		2.79		-28.29		50.06	
61	8-17	b4	B8	0	90	.355	.193	.247	57.60	.07		7.73		5.80		4.39		-45.16		58.09	
62	8-18	b5	B8	0	90	.355	.193	.247	51.30	.40		3.40		6.47		4.51		-50.64		69.87	
63	8-19	b6	B8	0	90	.355	.193	.247	52.90	.73		9.00		6.60		5.11		-65.51		75.34	
64	8-20	b7	B8	0	90	.355	.193	.247	70.00	.13		6.53		6.87		3.88		-46.55		48.68	
65	8-21	b4	B9	0	90	.328	.151	.238	54.40	.33		8.47		7.87		4.82		-54.90		73.60	
66	8-22	b5	B9	0	90	.328	.151	.238	54.40	.47		7.80		6.53		3.62		-43.48		51.85	
67	8-23	b6	B9	0	90	.328	.151	.238	59.10	.53		9.53		7.67		4.15		-51.89		57.59	
68	8-24	b7	B9	0	90	.328	.151	.238	46.70	.07		8.40		8.20		4.45		-51.39		92.32	
69	9-1	s1	A1	0	360	.405	.182	.240		-.27	.42	4.20	2.53	7.00	3.17	2.01	.97				
70	9-2	s2	A1	0	360	.310	.182	.240		.33	.50	7.13	3.92	5.53	3.67	2.91	1.38				
71	9-4	s1	B3	5	90	.230	.118	.211		1.27		7.00		6.87		4.17					
72	9-6	s2	B3	5	90	.230	.118	.211		.27		6.80		8.00		4.67					
73	9-7	s3	B3	5	90	.230	.118	.211		.73		6.87		6.67		4.25					
74	9-8	s1	B4	5	90	.245	.078	.202		1.33		3.13		6.87		3.63					
75	9-9	s2	B4	5	90	.240	.078	.202		.20		8.53		5.27		4.75					
76	9-10	s3	B4	5	90	.235	.078	.202		.73		8.33		5.47		4.97					

注) データ番号 2~8は風速 0.5~4m/s、被高 4~10cmの風浴下、他のデータ番号は表2の実験条件下での結果を示す。
但し、(1.5h)、(6h)の欄における値は、それぞれ実験時間 1.5時間、6時間における平均速度を示す。

3-3はI型のスーツの場合で内部の浸水はほとんどなく、120分後、指先の温度は約10℃になったが、直腸温は初期より0.6~0.8℃の降下にとどまった。

図-52は、0℃の標準実験条件下で、I型より保温性の良いA1スーツを、被験者s1とs2が着用した場合の実験結果である。s1の直腸温は、初期の3時間においてはほぼ直線的に降下し、その後大きく脈動しているが、これは末梢血管の収縮、間歇的に起きるふるえによる産熱量の増減等による影響によるものと考えられる。6時間後における、直腸温の初期よりの降下は約2.5℃、足部皮膚温は約9℃を示し、いずれも表-9の許容温度2℃、10℃を越えている。s2の場合、内部に1.4kgの浸水があり、直腸温、手部皮膚

温は、s1より若干低くなっている。

図-53は、5℃の標準実験条件下で、B3型とB4型のスーツをそれぞれ被験者s1, 2, 3が着用した場合の実験結果である。実験番号9-8, 9, 10のB4型の場合、内部への浸水(150~550g)のため上腕部、背中部の皮膚温が変動、降下しているが、この程度の浸水であれば被験者の水中許容時間に与える影響はなく、被験者個々の耐寒特性による影響の方が大きい。即ちB3, B4のいずれのスーツの場合も、被験者s1の直腸温の初期より実験終了まで(90分間)の降下度は約2℃、s2は約0.4℃、s3は約1.1℃であり、被験者s2の直腸温の降下温度はs1の約1/5である。

標準実験条件下での、被験者別の直腸温、平均皮膚温、

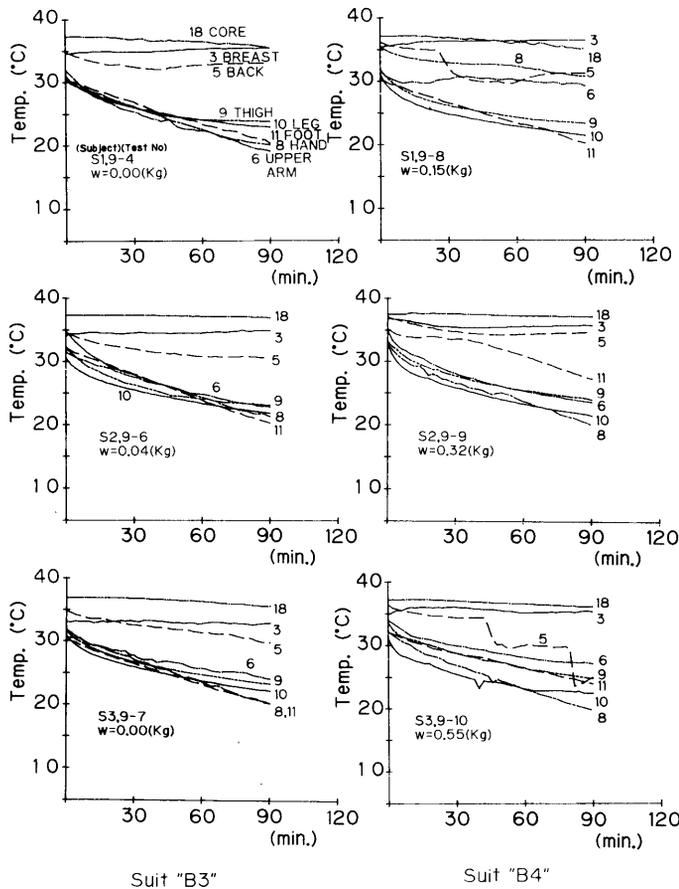


図-53 5℃、標準実験条件下での被験者の耐寒性試験結果

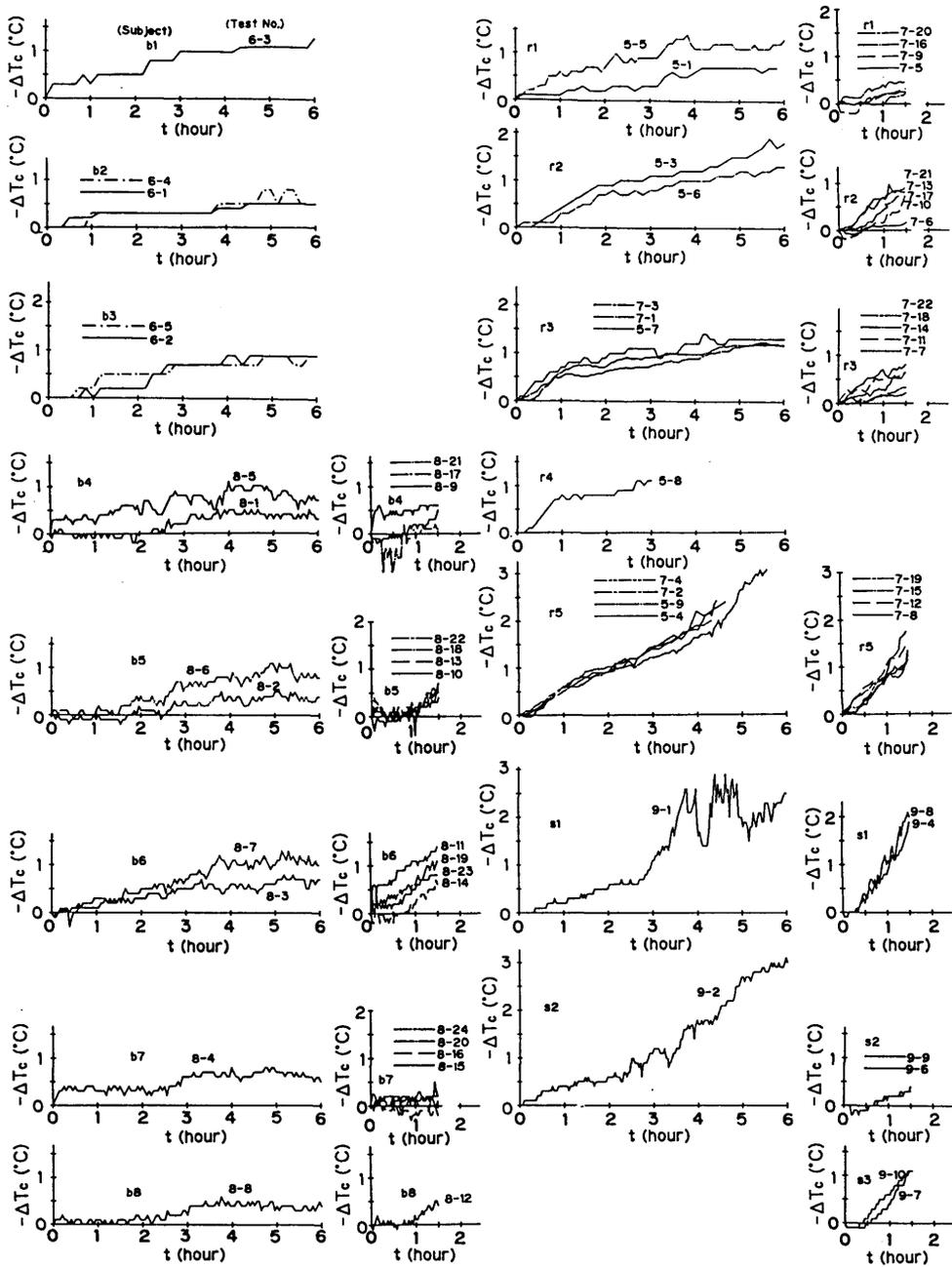


図-54 直腸温の経時変化

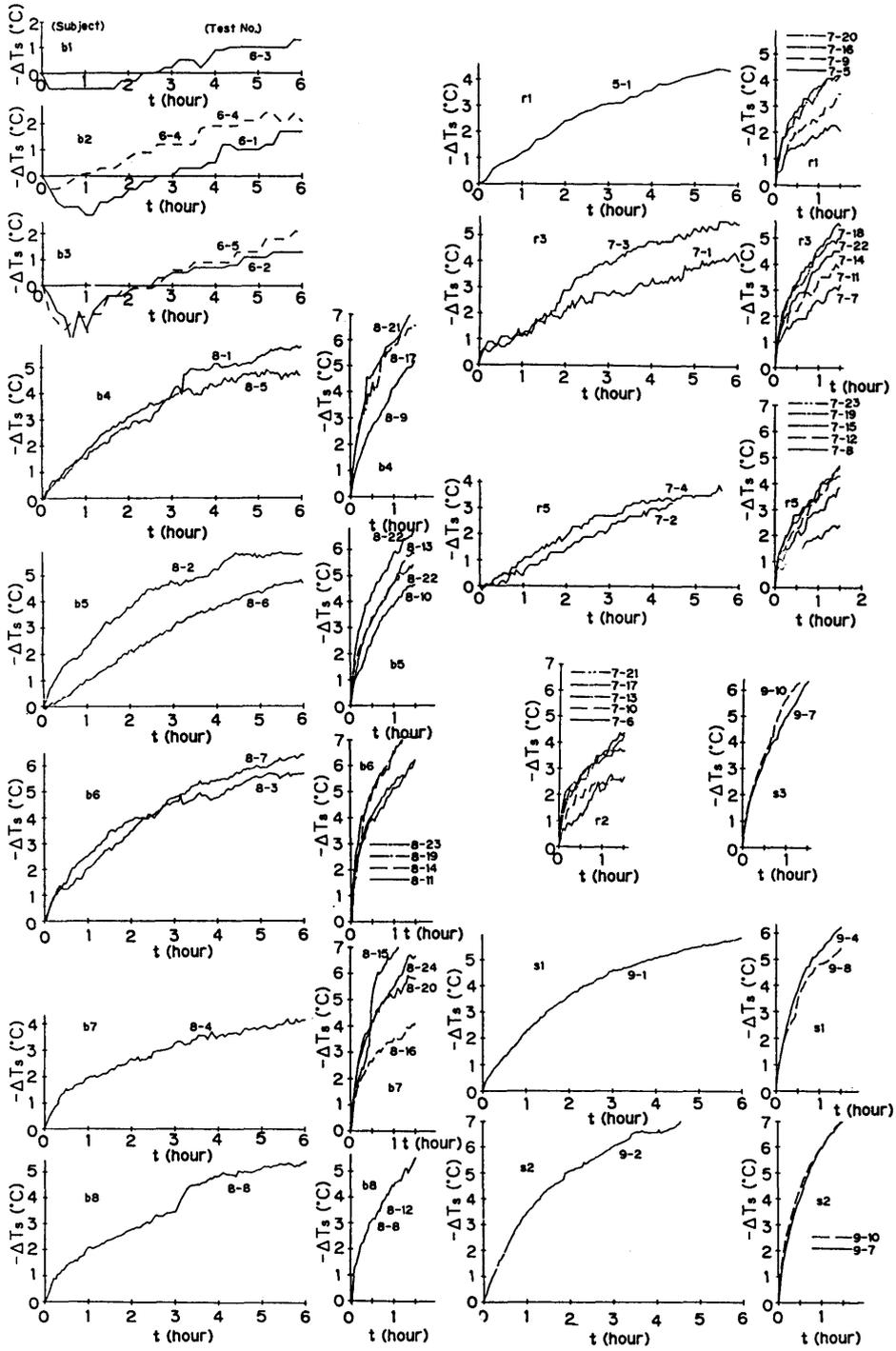


図-55 平均皮膚温の経時変化

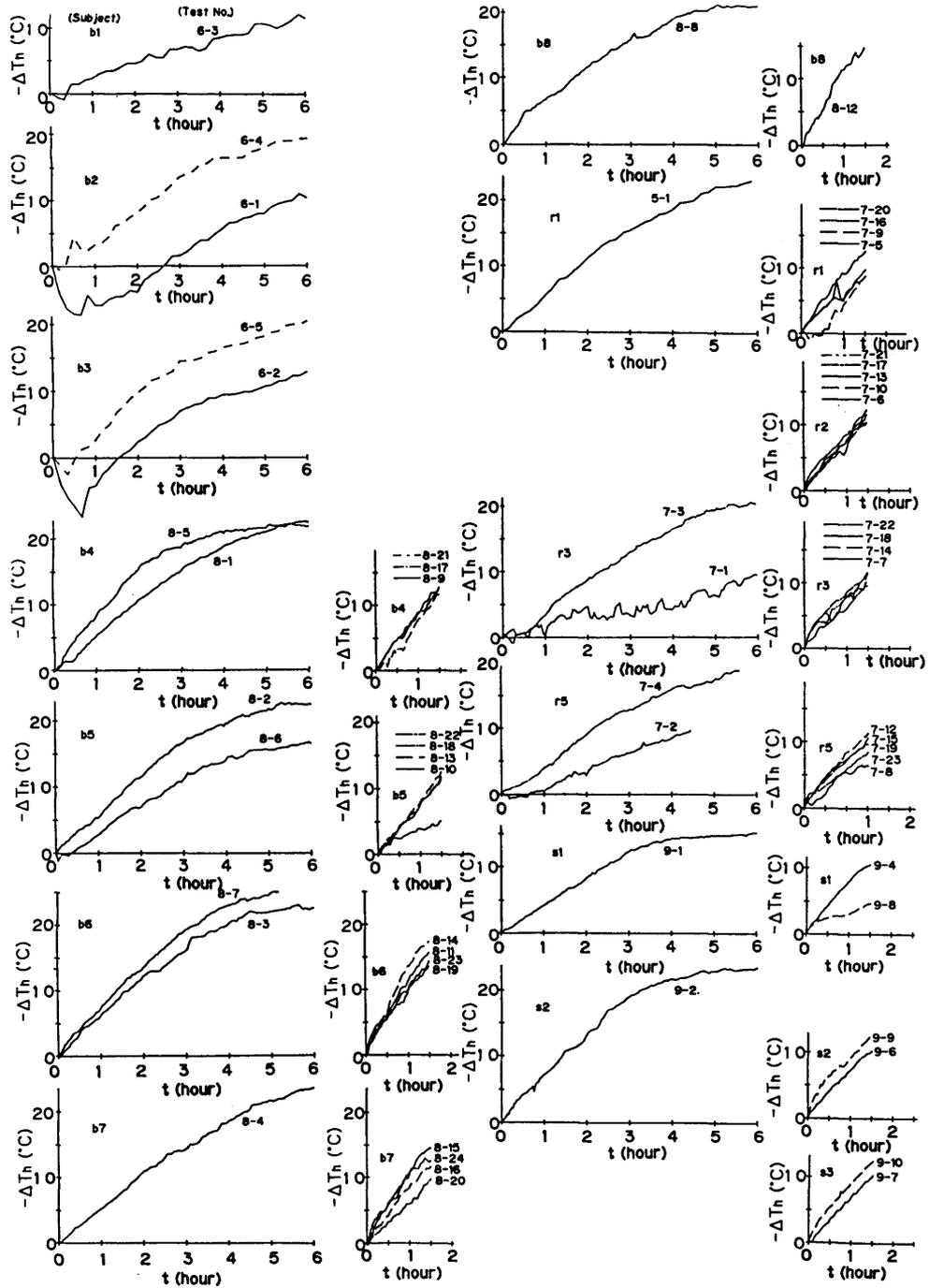


図-56 手部皮膚温の経時変化

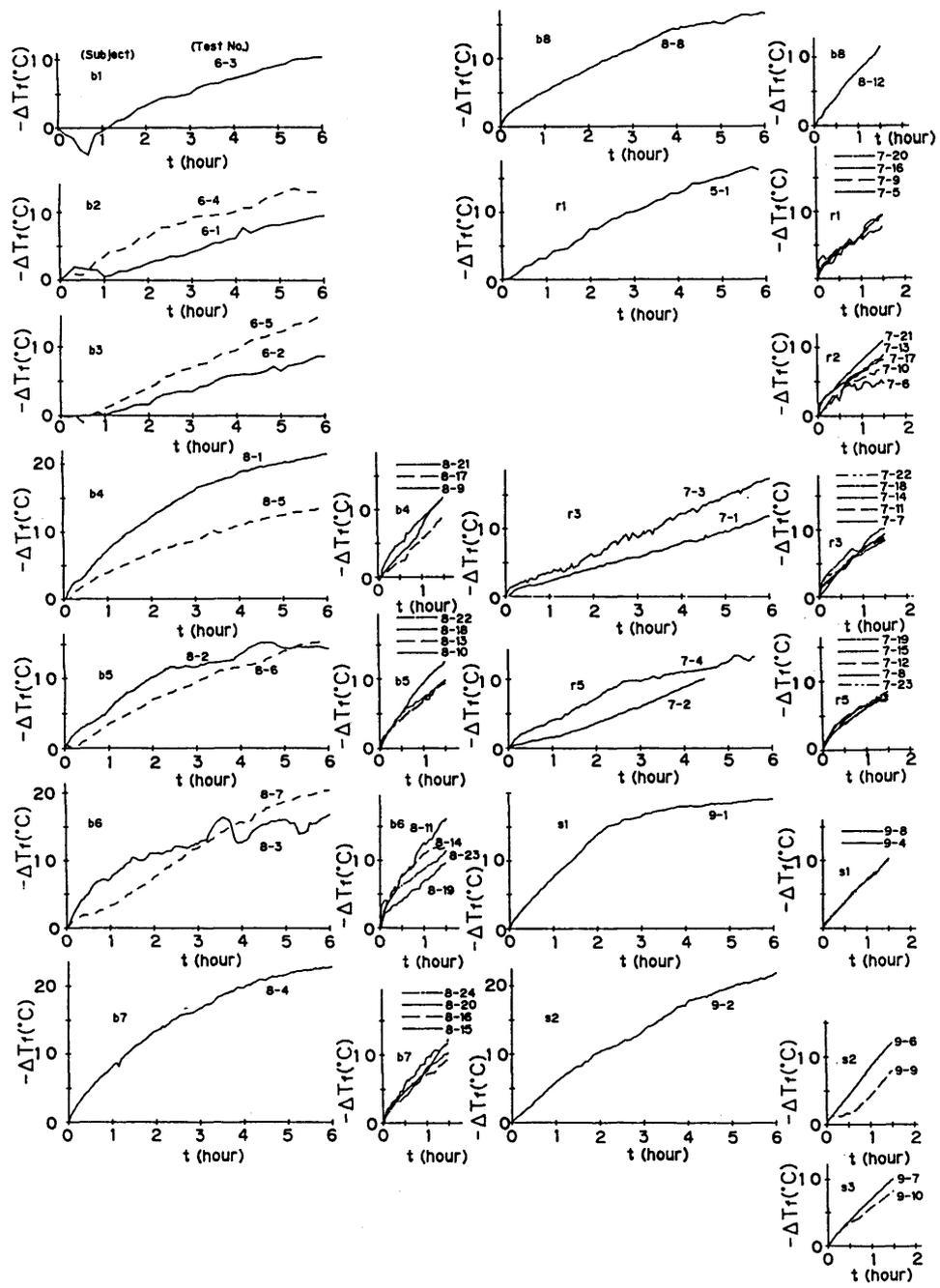


図-57 足部皮膚温の経時変化

手部皮膚温, 足部皮膚温の実験初期よりの降下温度, $-\Delta T_c, -\Delta T_s, -\Delta T_h, -\Delta T_f$ の経時変化を, 図-54~図-57に示す。A型スーツは0℃の水中で6時間, B型スーツは5℃の水中で1.5時間を標準とした。但し, 実験番号8-9から8-24迄はB型スーツによる0℃の水中で1.5時間の実験結果である。水温の異なるB型スーツの実験結果に有意差は認められない。また, 着用したスーツの熱抵抗の違いによる影響よりも, 被験者個々の耐寒特性の違いによる影響の方が大きい。図-54より直腸温は, 最初の1~2時間はほぼ直線的に降下しているが, それ以後 i) 降下速度が緩やかになっていく安定型と, ii) 降下速度が一定, 或は加速していく直降型, とに分けられる。

t 時間経過後の直腸温の降下温度を (25) 式の形で表示する。

$$-\Delta T_c = K_c \cdot t^{n_c} \quad \dots\dots\dots (25)$$

K_c, n_c は, 初験者の耐寒特性及びスーツの熱抵抗等から決まる定数で i) の安定型では $n_c < 1$ であり ii) の直降型では $n_c \geq 1$ である。被験者の耐寒特性を表-12の肥瘦率Fで代表させ, Fと n_c の関係を図-58に示す。 n_c はFの増加につれほぼ直線的に減少している。

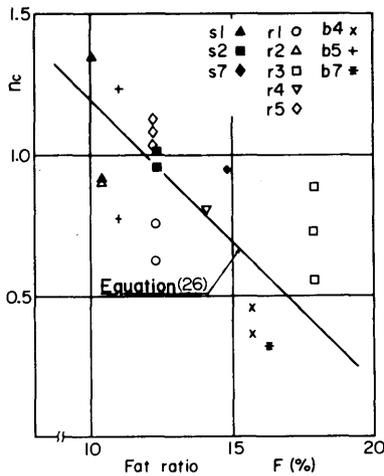


図-58 F~ n_c

$$\text{即ち } n_c = n_{c,0} - 0.1 F \quad \dots\dots\dots (26)$$

ただし $n_{c,0} = 2.2$

痩せ型の方が n は大きく, 被験者 s1 の $n = 1.3$, 被験者 r5 (偶発性低体温症)³⁵⁾ と s2 の $n = 1.0$ で, 両者 (434)

とも直降型と考えられるが, その他の被験者は安定型である。

図-55より, 平均皮膚温の降下速度は時間の経過につれ減少していく。被験者による違いは, 直腸温の場合のように明確ではない。

図-56, 57の手部及び足部の皮膚温も平均皮膚温とよく似た傾向を示している。

即ち (27)~(29) 式の形で各部の皮膚降下温を表示する。

$$-\Delta T_s = K_s \cdot t^{n_s} \quad \dots\dots\dots (27)$$

$$-\Delta T_h = K_h \cdot t^{n_h} \quad \dots\dots\dots (28)$$

$$-\Delta T_f = K_f \cdot t^{n_f} \quad \dots\dots\dots (29)$$

K_s, n_s 等は, 被験者の特性及びスーツの熱抵抗等により決まる定数で, 一般に $n_s, n_h, n_f < 1$ である。

4.4 被験者とサーマル・マネキンによる実験結果との関係

マネキンにより求めたスーツの熱抵抗Rと, 実験開始よりt時間の直腸温の降下速度 $-\Delta T_c/t$ との関係を図-59に示す。式(25)より

$$-\Delta T_c/t = K_c \cdot t^{n_c - 1} \quad \dots\dots\dots (30)$$

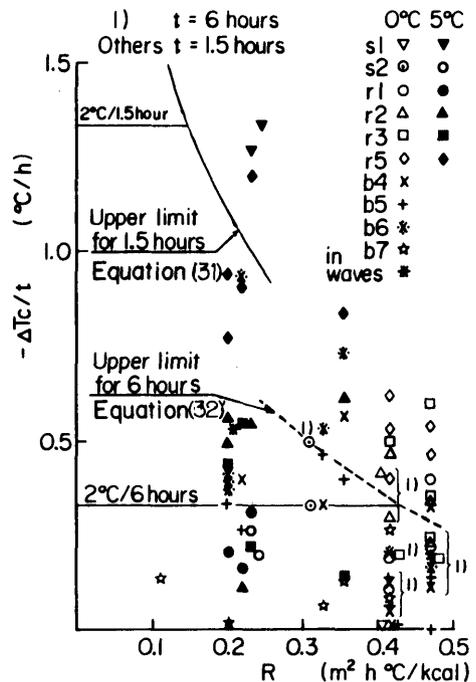


図-59 直腸温の降下速度

人体の安全面から考えると、直降型の被験者を対象としてスーツの保温性を考えるべきであるが、直降型の被験者の数は少なく例外的とも考えられ、スーツの実用面も考慮し、ここでは直降型に近い安定型の被験者 b 6 を対象とする。被験者 b 6 の直腸温の経時変化に関する実験結果より、標準被験者の n_c を 0.9 と仮定する。t が 1.5 時間未満のときには $n_c = 1$ と仮定する。図一59より、直腸温の降下速度に与える水温 0℃ と 5℃ の違いによる影響は認められないが、スーツの熱抵抗の違いによる影響は認められる。降下速度は、熱抵抗が 0 のときにもある値をもち、熱抵抗の増加につれ減少することから (30) 式を (31) 式の形で表示する。

$t \leq 1.5$ のとき

$$-\Delta T_c/t = 1/(A_c + B_c \cdot R) \dots\dots\dots (31)$$

ただし、 A_c , B_c は定数である。

図一59より、 $R=0.15$ のときの降下速度 1.333, $R=0.35$ のとき 0.74 を (31) 式に代入すると、 $A_c=0.3$, $B_c=3$ が求まる。

$t \geq 1.5$ のとき

$$-\Delta T_c/t = 1/\{(A_c' + B_c' \cdot R) \cdot t^{1-n_c}\} \dots\dots (32)$$

$t=1.5$ における (31) 式との連続性より、 $R =$

0.15 のとき降下速度 1.333, $R=0.43$ のとき 0.333 を (32) 式に代入し、 $A_c'=-0.238$, $B_c'=6.39$ が求まる。 $t=6$ のとき、

$$-\Delta T_c/6 = 1/(-0.284 + 7.64R) \dots\dots\dots (32)'$$

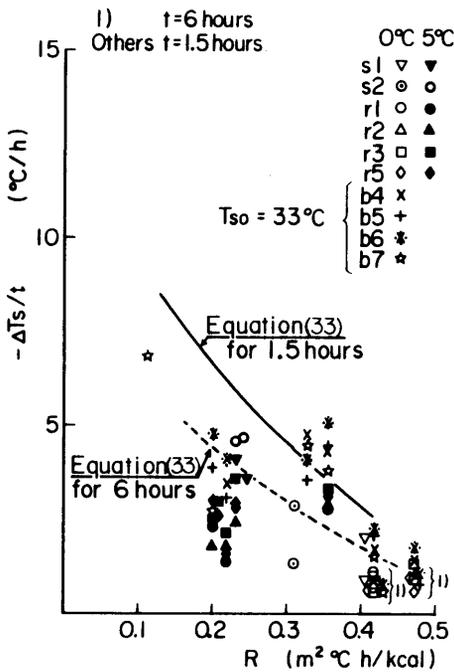
式 (31), (32)' による値を図一59に併記する。

図一60に平均皮膚温の降下速度の実験結果を示す。水温の影響はなく、 R が増加すると減少する傾向にある。式 (27) より平均皮膚温の降下速度 $-\Delta T_s/t = K_s/t^{1-n_s}$ で表される。図一60より降下速度の大きい被験者として b 6 を選ぶ。冷水中での b 6 の平均皮膚温の経時変化に関する実験結果より $n_s=0.65$ が求まる。 $K_s=1/(A_s + B_s \cdot R)$ とおき、図一60の実験値より計算すると $A_s=-0.02$, $B_s=0.88$ が求まる。図一61, 62に手部と足部の皮膚温の降下速度の実験結果を示す。

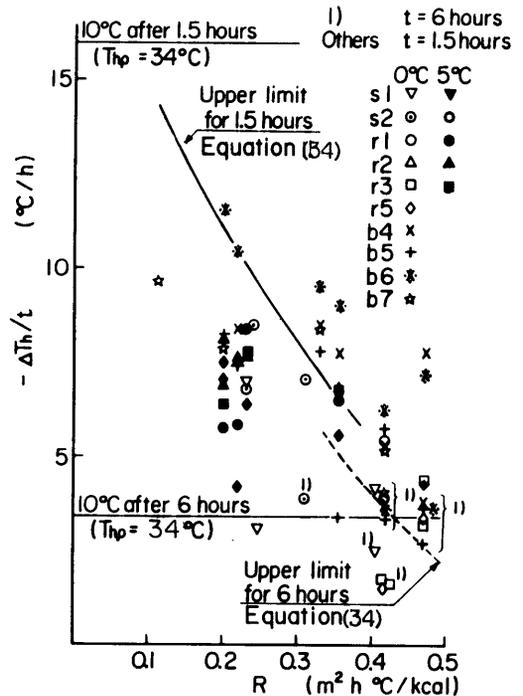
平均皮膚温の場合と同様に被験者 b 6 につき、
 $n_h=0.80$, $n_f=0.75$ とすると、
 図一61より $A_h=0$, $B_h=0.46$
 図一62より $A_f=0$, $B_f=0.56$ が求まる

即ち、皮膚温降下速度の大きい標準被験者に対して、(33)~(35) 式が適用できる。

即ち、 $-\Delta T_s/t = 1/\{(-0.02 + 0.88R) t^{0.35}\} \dots (33)$



図一60 平均皮膚温の降下速度



図一61 手部皮膚温の降下速度

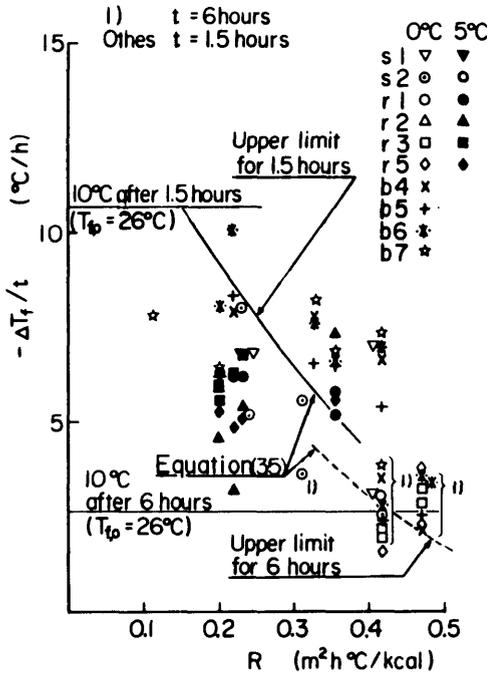


図-62 足部皮膚温の降下速度

$$-\Delta T_h/t = 1/(0.46R \cdot t^{0.20}) \quad \dots\dots\dots (34)$$

$$-\Delta T_f/t = 1/(0.56R \cdot t^{0.25}) \quad \dots\dots\dots (35)$$

式 (33) ~ (35) による値を図-60~62に併記する。

図-63に実験より求めたスーツの熱抵抗と被験者の水中許容時間との関係を示す。許容時間はSOLAS条約の要件に従い、直腸温が初期より2°C低下するまでの時間としたが、実験時間が短く2°Cに達しないときは、その後も直腸温は直線的に降下すると仮定して求めた。そのため $n_c < 1$ の被験者 b 6, r 2 の許容時間はみかけ上短くなっている。

式 (25) において $-\Delta T_c = 2$ とおくと直腸温の水中許容時間 $t_{l,c}$ が求まる。

$t \leq 1.5$ のとき

$$t_{l,c} = 2(A_c' + B_c' \cdot R) = 0.6 + 6R \quad \dots\dots (36)$$

$t > 1.5$ のとき

$$t_{l,c} = \{2(A_c + B_c \cdot R)\}^{1/n_c} = (-0.475 + 12.8R)^{1.111} \quad \dots\dots (37)$$

(36), (37) 式による値を図-63に併記する。

手、足部の水中許容時間 $t_{l,h}$, $t_{l,f}$ に対しては、被験者 b 6 の手、足部の初期温度 $T_{h,o}$, $T_{f,o}$ が 10°C 降下するまでの時間と定義すると式 (28), (29) より

$$(436)$$

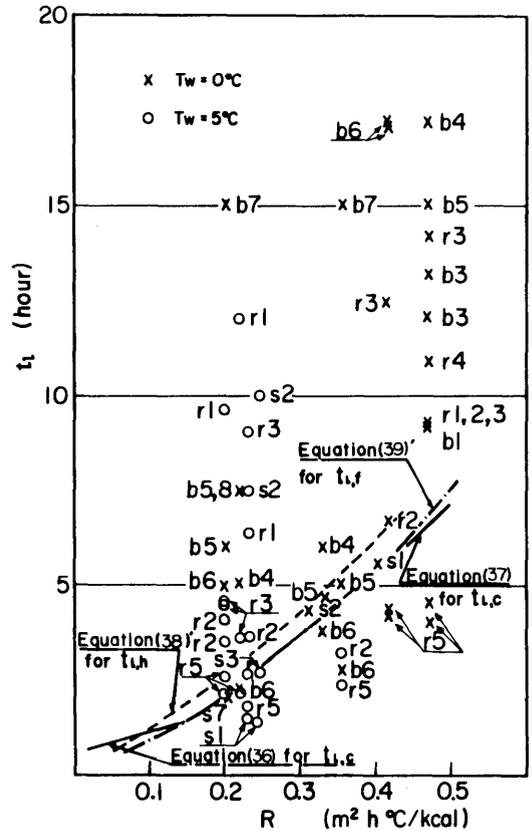


図-63 冷水中許容時間

$$t_{l,h} = \{(T_{h,o} - T_h)(A_h + B_h \cdot R)\}^{1/n_h} \quad \dots\dots (38)$$

$$t_{l,f} = \{(T_{f,o} - T_f)(A_f + B_f \cdot R)\}^{1/n_f} \quad \dots\dots (39)$$

被験者 b 6 の場合、実験結果より $T_{h,o} = 34^\circ\text{C}$, $T_{f,o} = 26^\circ\text{C}$ であった。

即ち (38), (39) 式より

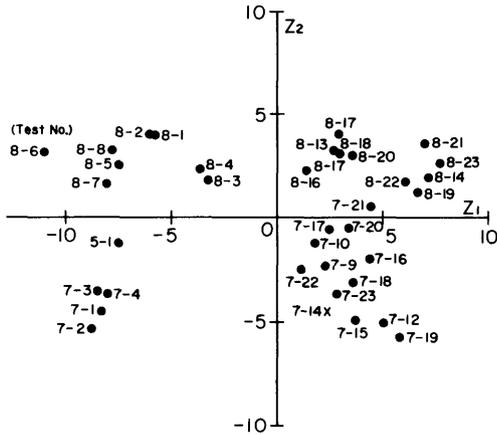
$$t_{l,h} = 21.1R^{1.25} \quad \dots\dots\dots (38)'$$

$$t_{l,f} = 18.6R^{1.333} \quad \dots\dots\dots (39)'$$

(38)', (39)' 式による値を図-63に併記する。

図より、 $t_{l,h}$, $t_{l,f}$ はいずれもほぼ $t_{l,c}$ に等しい被験者の水中許容時間は被験者により大幅に異なり、また同じ被験者が同じスーツを着用しても、被験者の試験前の調整状態、試験実施時の環境条件等によって異なる。従って、被験者の安全性のみならず、試験結果の信頼性と再現性の見地からも、イマーシオン・スーツの保温性評価は、被験者によるよりも、サーマル・マネキンで実施するほうが適切である。即ちイマーシオン・スーツの平均熱抵抗 R をサーマル・マネキン

分析による因子負荷量を示したもので、横軸の第一主成分はスーツの保温性、被験者の降下温度を示し、軸の負の側へ移動するに従いスーツの保温性、被験者の蓄熱速度が増加し、正の側へ移動すると被験者の降下温度、放熱速度が増加する。縦軸の第二主成分は被験者の属性を示し、軸の負の側へ行くに従い、身長、体重が大きくなる。



図一65 主成分分析結果 (因子得点)

図一65は因子得点を示したもので、 Z_1 が負の左半分に保温性の良いA型のスーツが、 Z_1 が正の右半分に保温性の悪いB型のスーツによる実験が集中している。

Z_2 が正の上半分には被験者bが、負の下半分には被験者rが集中している。これは、bの被験者の皮膚温の降下温度がrの被験者よりも大きかったためと考えられる。bとrの被験者の属性の違いによるものか、実験場所、方法の違いによるものかは明らかでない。

4.5 本章のまとめ

本章に於いて得られた成果を要約すると次のとおりである。

- 1) イマーション・スーツの保温性を被験者によることなく、物理的に求めるため、全身、手、及び足部のサーマル・マネキンを開発し、その制御、実験・測定方法を確立した。
- 2) スーツ構成材料の熱抵抗、マネキンの気中での熱抵抗を計測し、次に水中で、スーツ内部への浸水量、水流、或は水没程度がスーツを着用したサーマル・マネキンの保温性に与える影響を求め、標準実験条件を設定した。
- 3) サーマル・マネキンによる実験においては、外国製、A型及びB型の計12種類の試験用イマーション・スーツをサーマル・マネキンに装着し、標準実験条件のもとで、各部位と全体の熱抵抗値を求めた。
- 4) 被験者による実験においては、同じイマーション・スーツを属性の異なる21人の被験者に装着し、サーマル・マネキンの場合と同じ標準実験条件のもとで、0℃または5℃の冷水中、浮遊状態で直腸温、皮膚温を計測し、直腸温が初期より2℃以上降下した時、或は、皮膚表面の温度が10℃以下になった時の時間より、被験者の水中許容時間を求めた。
- 5) 水中許容時間は、被験者により大幅に異なるため、標準の被験者を選定し、サーマル・マネキンにより求めたイマーション・スーツ全体の熱抵抗と標準被験者の水中許容時間の関係を求めた。
- 6) この結果、0～5℃の冷水中で90分、または6時間とどまるためには、それぞれ、0.15または0.43m²h℃/kcalの平均熱抵抗をもつイマーション・スーツを装着する必要があることが分かった。
- 7) イマーション・スーツの耐寒性能を被験者で評価する方法は、実行上、被験者の数、実験回数が少なくなりがちで、データの信頼性に欠け、不適当であることを示し、サーマル・マネキンによる代替評価試験法を提案した。

冷水中の被験者の許容時間、即ち、直腸温が初期より2℃降下するまでの時間、或は手または足部の皮膚表面温度が10℃になるまでの時間と、スーツの平均熱抵抗の関係を多くの被験者とサーマル・マネキンの実験から求め、図一63に示した。更に、被験者の中から標準被験者を選定し、水中許容時間とスーツの熱抵抗の関係を示す限界曲線を求め図一63に併記した。図より多くの安定型の被験者は限界曲線から遠く離れた位置にあり、また同じ被験者でもデータがばらつくことが分かる。即ち、任意に選ばれた数人の被験者により耐寒性試験を実施し、水中許容時間を求めても、スーツの保温性を正しく評価することは困難である。事前に、多数の被験者候補の耐寒特性を調査し、その中より限界曲線近辺にある被験者数人を選び、スーツを着用させ、各被験者ごとに数回の耐寒実験を実施して、初めてスーツの保温性の評価は可能となる。しかし、このような試験は、今回の実験と同程度の被験者、実験回数を必要とすることを意味し、新製品に対して逐一このように大規模な試験を実施することは不可能に近い。従って、試験結果の再現性と信頼性を向上させ

るため、サーマルマネキンによる熱抵抗値を、図-63の限界曲線から求まる被験者の水中許容時間に対応させる方法が最良と考える。

4.6 イマーシオン・スーツの耐寒性能評価法

以上、イマーシオン・スーツの耐寒性能を、被験者によらず、サーマル・マネキンで評価する方法を確立した。その具体的手順を図-66に示す。

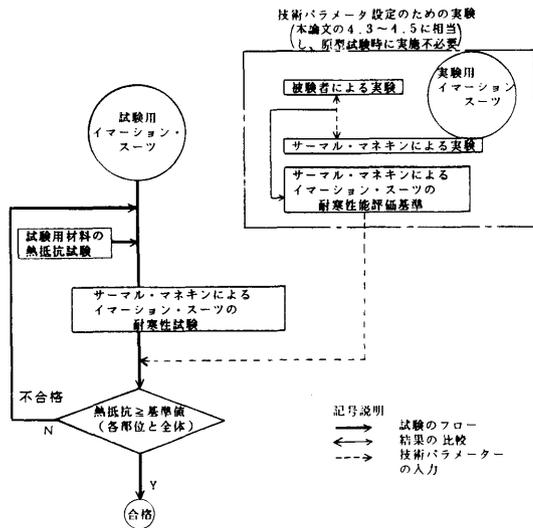


図-66 イマーシオン・スーツの耐寒性能評価法

まず、バックデータとして試験用イマーシオン・スーツ材料の熱抵抗を測定し、次にサーマル・マネキンによるイマーシオン・スーツの耐寒性能試験を実施する。サーマル・マネキンは図-45, 46, 表-7に示すものと同程度以上の、熱分割数、温度測定点数をもつものとし、これに表-9に示す標準衣類と試験用イマーシオン・スーツを装着し、低温室内の水槽に、これを装着した被験者の浮遊姿勢と同じになるよう浸漬する。マネキンを $100 \text{ kcal/m}^2\text{h}$ で発熱させ、定常状態でマネキン各部位の表面温度と水温を計測し、スーツ各部位の熱抵抗と平均熱抵抗を求める。但し、気流速度は $0.5 \sim 1.0 \text{ m/s}$ 、水流速度は $0.1 \sim 0.2 \text{ m/s}$ とし、水温及び気温は、大型船用のA型の場合 0°C 、漁船用のB型の場合 5°C とする。耐寒性の合否の判定は図-63の冷水中許容時間より求める。即ち、A型の6時間のとき $0.43 \text{ m}^2\text{h}^\circ\text{C/kcal}$ 、B型の1時間30分のとき $0.15 \text{ m}^2\text{h}^\circ\text{C/kcal}$ 以上の平均熱抵抗があれば合格とする。

5. 結 言

本研究では、救命設備の耐熱・耐寒性能を、SOLAS条約等で規定されている実規模試験で評価する方法の不合理性を指摘し、これに代え、模型と水槽等による簡易試験で得られた技術パラメータを用い、シミュレーションを実行し、評価する方法を提案し、次に、救命設備の中から最も使用頻度の多い救命艇と、新しく積付けが義務付けられたイマーシオン・スーツを選び、それぞれが、海面火災、冷海水の環境条件下で使用される場合の性能を、模型等による代替試験とシミュレーションで評価する方法を示した。

研究経過の要約と得られた主な結果は次のとおりである。

1) 実海域中での救命設備の耐熱・耐寒性能を、模型等による簡易な試験で得られた技術パラメータを用い、シミュレーションを実行し、評価する方法を提案した。

シミュレーション法を確立するには、実物と模型との関係ならびに環境条件等を定式化した数学モデルを作成し、次に環境条件や、救命設備の使用条件を考慮して実物と模型による試験を実施し、相互の伝達関数や技術パラメータを求める必要がある。

2) 海面火災中における救命艇の耐火性能評価法においては、散水防護式耐火救命艇の海面火災時における艇体及び艇内空気の温度上昇等を求めるシミュレーション法を構築し、実艇による4回の油火災実験、小型炉による水膜で覆われた艇体材料の耐熱・伝熱実験、水によるふく射熱の遮断実験を実施し、シミュレーションに入力する技術パラメータを求めるとともに、その方法の妥当性を確かめた。

試験水槽による油火災は、その規模において海面火災と同等でなく、また再現性に欠けるため、信頼性のあるデータを得がたい。従って、水槽での火災試験を止め、代わりに艇体材料の熱特性値、耐火性、有害ガス発生量等を求める、小試験片による試験と水膜厚さを求める実艇の散水試験を実施し、これらの試験により得られた技術パラメータを用いてシミュレーションにより、艇体および艇内の温度上昇等を計算し、救命艇の耐火・断熱性を評価する方法を提案した。

3) 冷海水中におけるイマーシオン・スーツの耐寒性能評価法においては、イマーシオン・スーツの保温性を被験者によることなく、物理的に求めるため、

サーマル・マネキンを開発し、スーツ内部への浸水量、水流、或は水没程度が、スーツを着用したサーマル・マネキンの水中での保温性に与える影響を定量的に求め、サーマル・マネキンによる試験方法を確立した。

サーマル・マネキンと21人の被験者に、12種類の試験用イマーション・スーツを装着し、0～5℃の冷水中で、サーマル・マネキンでは各部位と全体の熱抵抗、被験者では直腸温、皮膚表面温度を計測した。これ等の試験結果より冷水中の被験者の直腸温が初期より2℃低下するまでの水中許容時間とスーツの平均熱抵抗Rの関係を求め、図-63に示した。その結果、被験者の水中許容時間は、被験者により大幅に異なるため標準の被験者を選定し、サーマル・マネキンにより求めたイマーション・スーツ全体の熱抵抗と標準被験者の水中許容時間の関係を求め、限界曲線とした。多くの被験者は限界曲線から遠く離れた位置にあり、また同じ被験者でもデータがばらついている。即ち任意に選ばれた数人の被験者により耐寒性試験を実施し、水中許容時間を求めても、スーツの保温性を正しく評価することは困難である。

従って、試験結果の再現性と信頼性を向上させるため、サーマル・マネキンによる熱抵抗値を、図-63の限界曲線から求まる標準被験者の水中許容時間に対応させる方法が最良と考える。たとえば、0～5℃の冷水中で90分、または6時間とどまるためには、それぞれ、0.15または0.43m²h℃/kcalの全熱抵抗をもつイマーション・スーツを装着する必要がある。

以上、船舶救命設備の、実海域での耐熱・耐寒性能を、実物による大規模な試験に代え、模型等による簡易試験とシミュレーションにより評価する方法を提案し、耐火救命艇とイマーション・スーツについて、その方法を示し、性能評価の手順や、実物と模型、試験とシミュレーションとの対応関係に関する知見が得られた。異なる環境条件や、これら以外の救命設備の性能評価に対しても、本方法を応用できることは第2章で述べたとおりである。

救命設備は、荒海、火災海面、寒冷海域、などの環境下で使用される場合が多い。これらの悪条件下での救命設備の耐熱・耐寒性能を評価するには、これらの環境条件を再現し、実物による試験を実施するのが望ましい。しかし、これらの試験は、一般に危険で、道義的にも問題があり、更に、これらの試験結果より、

再現性、信頼性のあるデータを得るには、試験の回数、時間、経費が増大し、実施困難な場合が多い。

従って、実海域中での救命設備の耐熱・耐寒性能を、模型と水槽等による代替試験で得られた技術パラメータを用い、シミュレーションを実行し、評価する一般的なフローを図-67に示した。

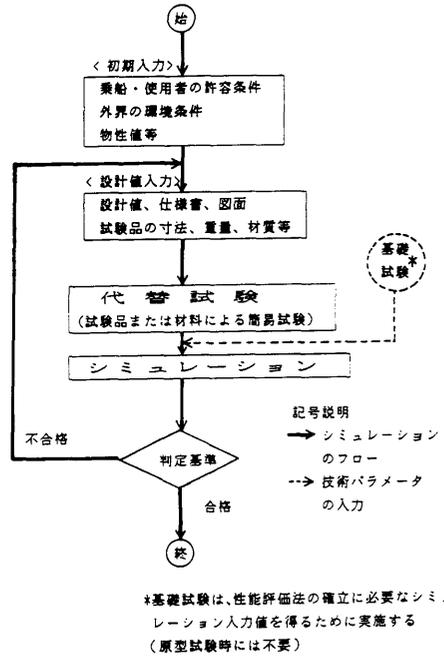


図-67 救命設備の耐熱・耐寒性能評価法

その概要は、救命設備の性能評価法を確立するため、救命設備の使用条件や環境条件下で、数学モデルを設定し、できるだけモデルに近い条件で基礎試験を実施する。基礎試験は、耐火救命艇の数回の油火災実験、イマーション・スーツの多くの被験者による耐寒実験に相当するもので、性能試験のたびに実施することは経費等の面から適切でないが、シミュレーションの構築に必要な、共通の技術パラメータを求めるためのものである。

基礎試験で得られた共通の技術パラメータと、乗船者、使用者の許容条件、外界の環境条件、物性等を表す既知の定数等を入力したシミュレーションが構築された以後に於いては、試験品の寸法等の設計値と簡易な代替試験（耐火救命艇の散水試験と艇体材料の試験、イマーション・スーツのサーマル・マネキンによる試

験に相当)より得られる技術パラメータ等を入力し、計算を実行し、その製品の性能を評価する。

謝 辞

本研究のうち、3.3.1(2)と3.3.2の実験は日本造船研究協会の事業(RR725,船尾洋二委員長)に当所が協力して実施されたものであり、実験を担当された筑波研究所の月野良久試験課長、船舶機装品研究所の桜井登志郎主任研究員に大変お世話になりました。また、4.2.4.3は、当所と日本造船研究協会(RR724)及び東京商船大学との共同研究により実施されたもので、実験を担当された東京商船大学伊藤良夫教授、防衛医科大学校萬木良平教授、労働科学研究所肝付邦憲主任研究員より被験者の耐寒実験に関し御指導と御協力を受けました。

また本報告をまとめるにあたり、大阪府立大学工学部船舶工学科 田口賢士教授より、終始懇切なるご指導を頂きました。

さらに菅井和夫所長より、本報告の構成に対して、御助言を頂きました。システム技術部 翁長一彦部長からは、本研究の実施面で、多大の御支援と御配慮を頂きました。

上記に関係しお世話になりました大勢の方々に心から厚くお礼を申し上げます。

参 考 文 献

- 1) 海難審判庁：海難審判庁裁決録，海難審判の現状，昭和37年より以後につき調査。
- 2) 海難審判庁：浸水・転覆・沈没海難の実態，昭和57年12月。
- 3) 日本海難防止協会：海難防止の調査研究事業報告書，昭和55年3月。
- 4) 及川 清 他3名：救命設備の使用効果に関する調査研究，東京商船大学研究報告書，第32号，昭和56年12月。
- 5) 日本海難防止協会：救命システムに関する調査研究，(中間報告)昭和46年度，(完了報告)昭和47年度。
- 6) Alexandrov, M. : Probabilistic Approach to the Effectiveness of Ship Life Saving Systems Trans. SNAME, Nov. 1970.
- 7) 樋富和夫，宮田 修，長田 修：海難時における救命設備の有効性に関する調査解析—I データベースの構築とその解析，日本航海学会論文集，第77号，昭和62年9月。
- 8) 運輸省海上技術安全局監修：1983年海上人命安全条約，海文堂，昭和62年1月。
- 9) 日本造船技術センター：全天候型救命艇およびその降下装置の研究報告書，昭和49年3月。
- 10) 日本造船研究協会：救命艇の耐波性能に関する研究，昭和55年3月。
- 11) Nagata, O., Tsuchiya, M. and Miyata, O. : Experimental Studies on the Stability of Inflatable Life Raft. Papers of Ship Research Institute No.56, Mar. 1979.
- 12) 日本造船研究協会：荒天下における救命設備の要件の検討：RR7(国際規則と船舶設計等との関連に関する調査研究)報告書，昭和56，57年度。
- 13) Foreman, J. : Full-Scale Trials of Inflatable Liferrafts in the Waters off Iceland. NMI TM 53, Sep. 1980.
- 14) Morrall, A. : A Stability Assessment of Inflatable Liferrafts. International Conference on Marine Survival Craft, Proceedings, Nov. 1983.
- 15) 運輸省船舶局：第28あけぼの丸事故調査検討会報告書，昭和57年11月。
- 16) 日本造船研究協会：漁船の安全対策に関する調査研究，昭和61年3月及び昭和62年3月。
- 17) 長田 修：ヨーロッパにおける救命関係の研究状況について，日本航海学会誌，第70号，昭和56年12月。
- 18) Werenskiold, P. and Klem, P. : Design and Testing of Free Fall Lifeboat Systems. International Conference on Marine Survival Craft, Proceedings, Nov. 1983.
- 19) 船尾洋二：新救命設備の諸問題と研究課題，日本造船学会誌，第652号，昭和58年10月。
- 20) 翁長一彦，長田 修：船舶火災に関する研究動向と問題点，日本船舶機関学会誌，第14巻，第7号昭和54年7月。
- 21) Harnett, R. M., O'Brien, E. M., Sias, F. R. and Pruitt, J. R. : Experimental Evaluations of Selected Immersion Hypothermia Protection Equipment. USCG Report No. CG-D-79-79, Oct. 1979.
- 22) Boutelier, C. : Survival and Protection of Aircrew in the Event of Accidental Immersion in Cold Water. AGARD-AG-211, Feb. 1979.

- 23) Finnish Board of Navigation : Testing of Immersion Suits. 1981.
- 24) 山崎福太郎, 長田 修: エンジンの出力に及ぼす吸気酸素量の影響について, 船舶技術研究所, 第4回発表会, 昭和40年6月。
- 25) Eto, T., Yamazaki, F. and Nagata, O.: A Study on Tanker Life Boat. Papers of Ship Research Institute, No. 13, Mar. 1966.
- 26) 日本船用機器開発協会: タンカー用FRP製耐火救命艇の耐火実験報告書, 昭和44年3月。
- 27) 長田 修, 大中幹夫, 山根健次: 海面火災時におけるポートデッキ及び降下中の艇防護対策について, 船舶技術研究所, 第15回発表会, 昭和45年5月。
- 28) 日本船舶品質管理協会: 耐火救命艇の火災試験の方法及び性能基準に関する調査研究, 昭和52年3月。
- 29) Nagata, O. and Ohnaga, K.: Performance of Fireproof Life Boats of Reinforced Plastics. Papers of Ship Research Institute, No. 61, Mar. 1980.
- 30) Nagata, O.: Heat Transmission into FRP Fireproof Lifeboat in Fire on the Sea Surface. International Conference on Marine Survival Craft, Proceedings, Nov. 1983.
- 31) 日本造船研究協会: 耐火救命艇の耐火性能評価方法, RR7報告書, 昭和58~60年度。
- 32) 長田 修, 樋富和夫, 船尾洋二, 月野良久: 耐火救命艇の散水によるふく射熱の遮断と断熱性に関する実験的研究, 日本造船学会論文集, 第161号, 昭和62年6月。
- 33) 日本造船研究協会: 風浪下の冷海中におけるイマージョンスーツの有効性に関する調査研究, 昭和57年9月。
- 34) 日本造船研究協会: イマージョンスーツの性能評価方法に関する調査研究, 昭和58年3月。
- 35) 日本造船研究協会: イマージョンスーツのサーマルマネキンによる評価方法, RR7報告書, 昭和58, 59年度。
- 36) 長田 修, 樋富和夫, 宮田 修: イマージョンスーツの耐寒性能評価法, 日本航海学会論文集, 第76号, 昭和62年3月。
- 37) 日本舶用品検定協会: イマージョンスーツの性能試験基準に関する調査研究報告書, 昭和60年3月, 昭和61年3月。
- 38) 田口賢士, 室津義定, 外山 嵩, 岸 光男: 旅客の脱出, 流動数学モデルによる船舶脱出システムの評価, 日本造船学会論文集, 第142号, 昭和52年12月。
- 39) 日本海難防止協会: 大型タンカーによる災害の防止に関する調査研究, 中間報告書(第1次), 昭和42年9月。
- 40) 科学技術庁研究調整局: タンカーの油流出事故対策に関する特別研究報告書, 昭和44年3月。
- 41) 長田 修, 樋富和夫, 宮田 修, 桐谷伸夫: 耐火救命艇の油火災試験方法について, 船舶技術研究所, 第44回発表会, 昭和59年11月。
- 42) 日本機械学会: 伝熱工学資料, 改訂第4版, 昭和61年10月。
- 43) 長田 修, 樋富和夫: 水によるふく射熱の遮断効果, 第12回, 安全工学シンポジウム, 昭和57年7月。
- 44) Nusselt, W.: Der Wärmeaustausch am Berieselungskühler. VDI-Z 67-9, 3-3-1923.
- 45) Brauer, H.: Strömung und Wärmeübergang bei Rieselfilmen. VDI Forschungsheft 457 22, 1956.
- 46) Kestin, J. and Whitelaw, J. H.: Sixth International Conference on the Properties of Steam—Transport Properties of Water Substance, Trans. ASME J. Engrg. Power 88(1), 1966.
- 47) Crank, J.: The Mathematics of Diffusion. Courtaulds Ltd.
- 48) Curcio, J. A. and Petty, C. C.: The Near Infrared Absorption Spectrum of Liquid Water. Journal of the Optical Society of America, Vol.41 No. 5, May 1951.
- 49) Palmer, K. F. and Williams, D.: Optical Properties of Water in the Near Infrared. Journal of the Optical Society of America, Vol. 64 No.8, Aug. 1974.
- 50) 長田 修: ハイポサーミアとイマージョンスーツについて, 日本造船学会誌, 第650号, 昭和58年8月。
- 51) Molner, G. W.: Survival of Hypothermia by Men Immersed in the Ocean. JAMA 131, 1946.

- 52) Alexander, L. : The Treatment of Shock from Prolonged Exposure to Cold Especially in Water. Combined Intelligence Objective Subcommittee APO 413, No. 24, Report 250, US Department of Commerce, 1945.
- 53) Spealman, C. R. : Physiology of Heat Regulation and the Science of Clothing. Ed. L. H. Newburgh, W. B. Saunders Co., 1949.
- 54) Winslow, C. E. A. and Herrington, L. P. : Temperature and Human Life. Princeton Univ. Press, 1949.
- 55) 花田嘉代子：被服の熱絶縁性，日本繊維機械学会誌，Vol. 35, No. 8, 1982。
- 56) 長田 修：イマージョンスーツの開発と研究，造船研究（その1）第17巻第4号，昭和61年1月，（その2）第18巻第1号，昭和61年4月。
- 57) DuBois, E. F. : The Mechanism of Heat Loss and Temperature Regulation. Stanford Univ. Press, Calif., 1937.