

令和5年度第1回研究談話会

令和5年度第1回シンビオ社会研究会研究談話会

信頼性解析手法GO-FLOWのヘリオトロンJ
水冷却系への適応

令和5年12月13日

松岡 猛 (宇都宮大学)

mats@cc.utsunomiya-u.ac.jp

松岡 猛(宇都宮大学)



本報告の内容

ヘリオトロンJの運転において重要な役割を果たしている水冷却系の信頼性／アベイラビリティ解析を実施。

水冷却系の主要な機器であるポンプ等の保守スケジュールを変更した時のアベイラビリティの時間履歴を算出し、適切な保守方法について検討を行った。

ヘリオトロンJ施設の実験実施とメンテナンスに関してGO-FLOW手法による解析がどの様に適用できるかを示す。

本講演の構成

1. ヘリオトロンJの概要
2. 水冷却系について
3. 機器の故障率設定
4. GO-FLOWチャートへのモデル化
5. GO-FLOW解析のためのパラメータ設定
6. 解析結果
7. 結論

ヘリオトロンJの本体部分

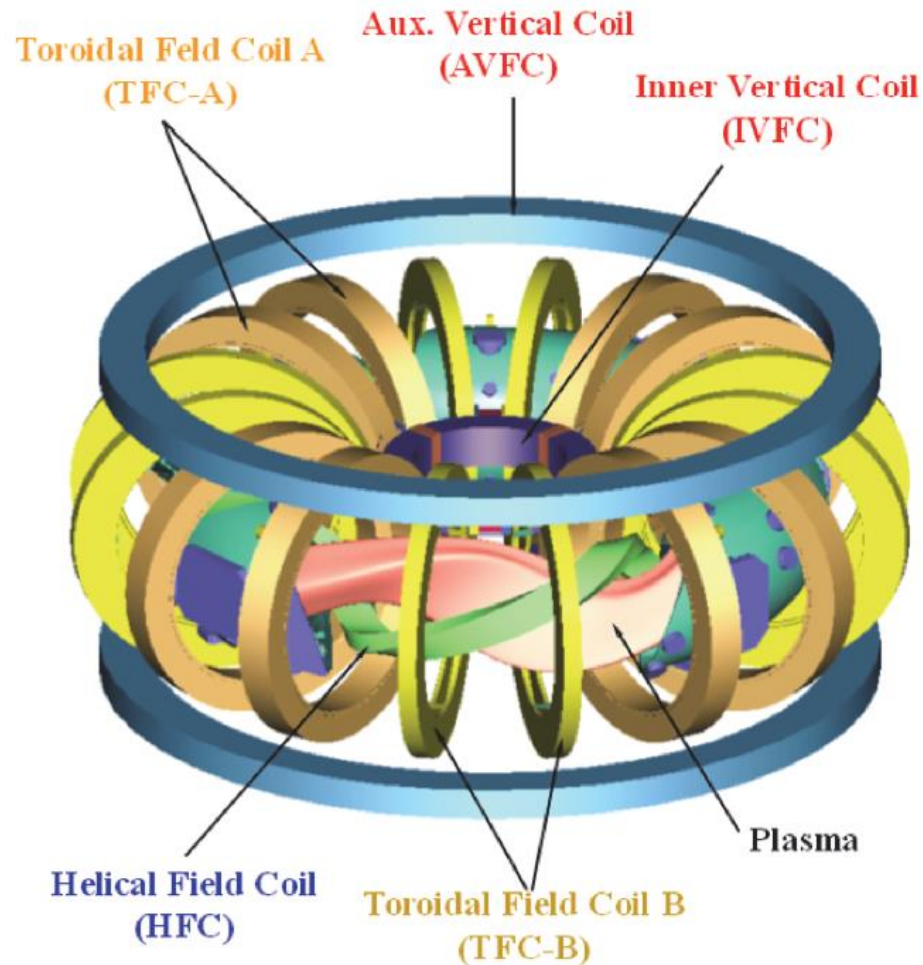
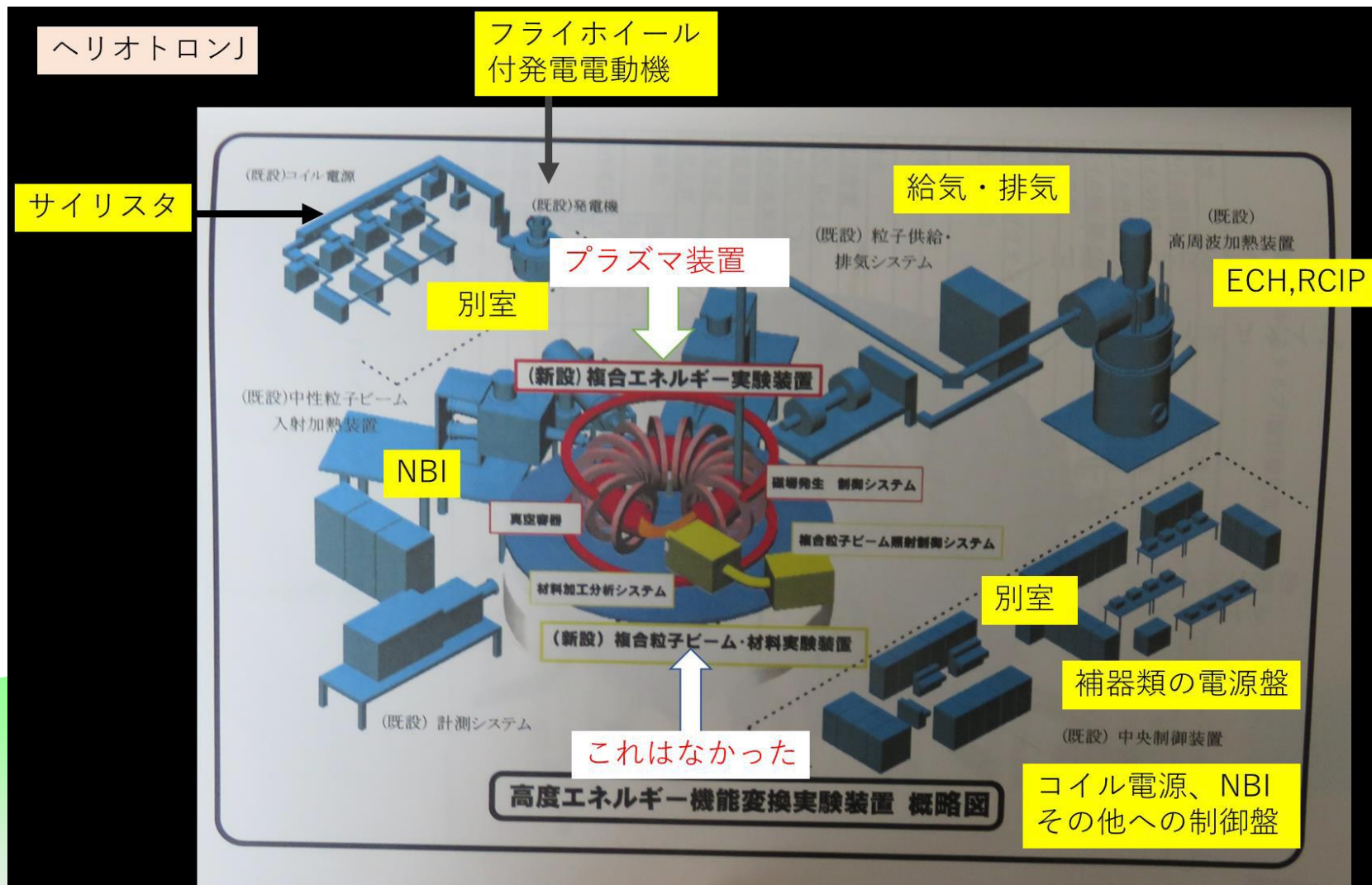


図 1 : Heliotron J 概要図

松岡 猛(宇都宮大学)

ヘリオトロンJ装置(関連装置を含む)



施設運用実績

1980年より、23年間(数年間の休止期間あり)稼働している
ので、実質稼働時間は約20年間。

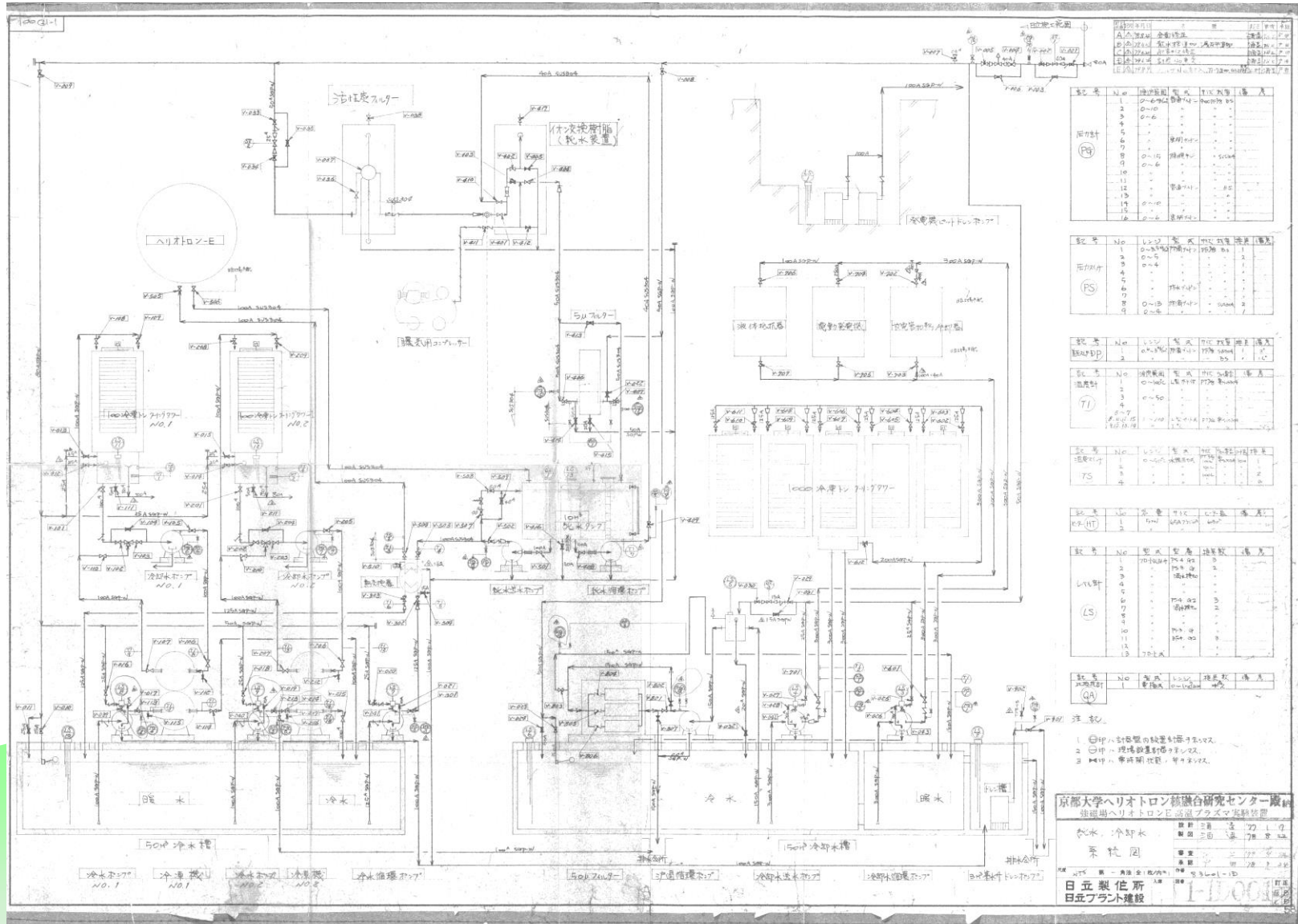
実験は年間約6ヵ月間で、週に28時間運転する。

年間の運転時間は、 $28\text{h}/\text{週} \times 6\text{ヶ月} = 28 \times 26\text{週} = 728\text{h}/\text{年}$ となる。

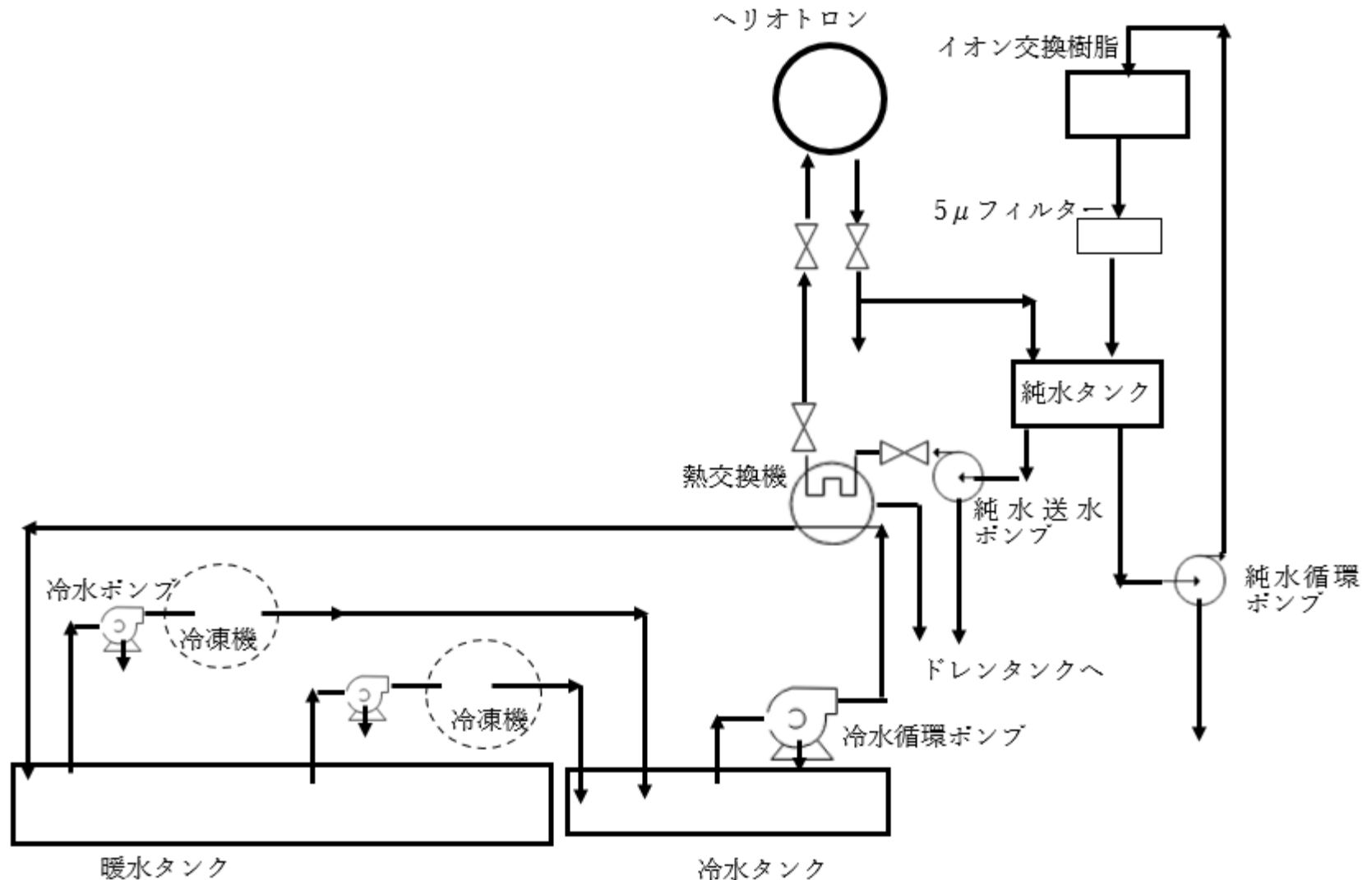
→それ故、総運転時間は14,560時間。

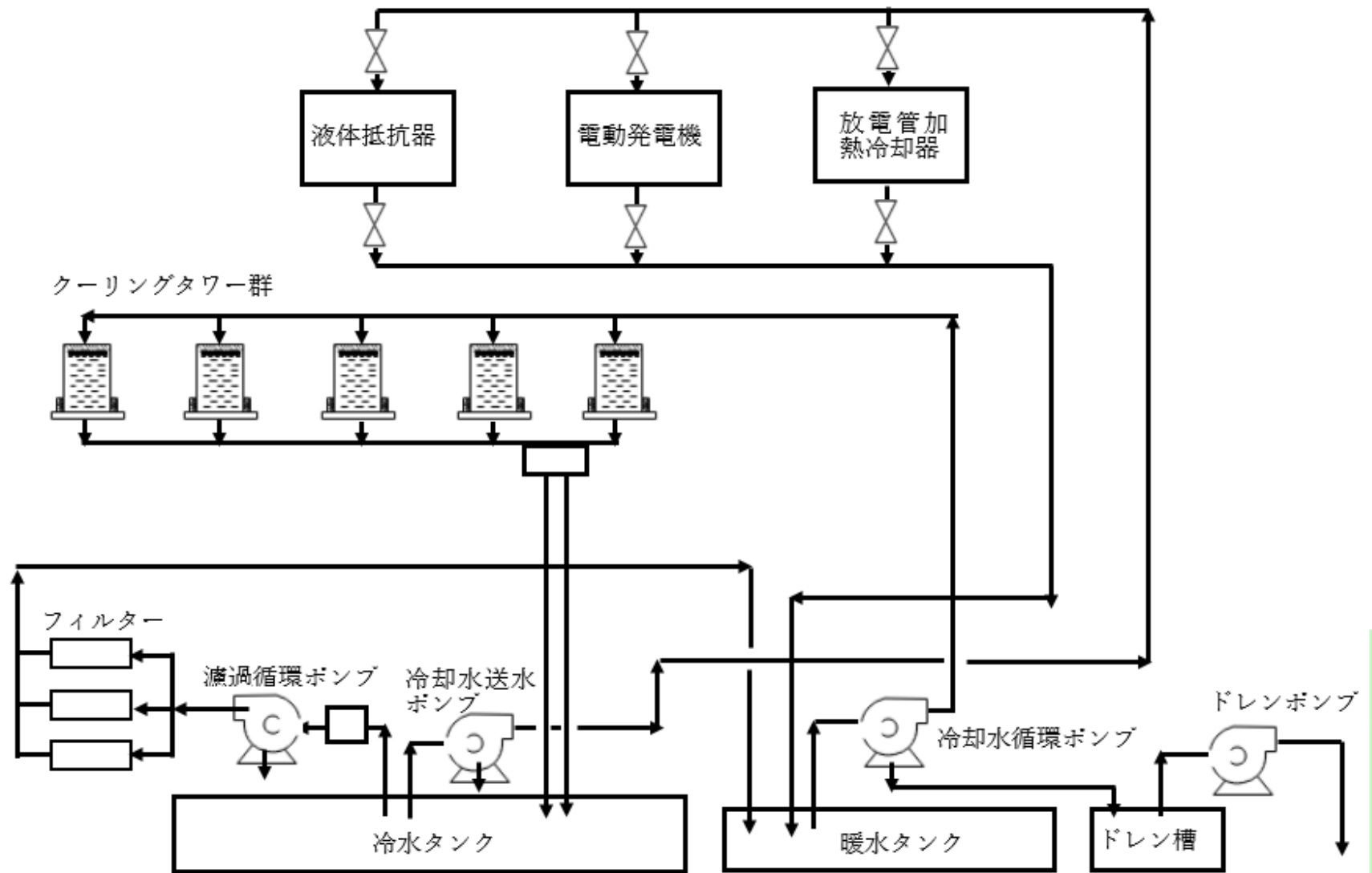
施設の経過時間は

$24 \times 365 \times 23 = 201,480$ 時間となる。



前ページの図から主要機器を取り出した構成図を作成すると次の2枚にまとめられる。





水冷却系の稼働条件

- 点検は年1回
- 冷凍機は一台でも稼働可
- 5台あるクーリングタワーのうち3台が稼働していれば、冷却機能は保持できる。

機器故障率の推定

- ✓ 総運転時間は14,560時間であり、その間10台設置されたポンプに故障が発生していないとすると、ポンプ稼働中の故障率は

$$1 \div (10 \times 14,560) = 6.9 \times 10^{-6} / \text{h} \text{以下となる。}$$

- ✓ 総経過時間は201,480時間であるので、その間での待機中故障率は同じく、

$$1 \div (10 \times 201,480) = 5 \times 10^{-7} / \text{h} \text{以下となる。}$$

機器故障確率の推定(2)

- ✓ ポンプの軸受けからの水漏れの調整が、年に一回程度ある。不具合確率は $1 \div (10 \times 14,560) = 1.2 \times 10^{-5} / \text{h}$ 程度となる。
- ✓ クーリングタワー2台に水漏れの経験があった。総経過時間は201,480時間であるので、その間での待機中故障率は同じく、 $2 \div (5 \times 201,480) = 2 \times 10^{-6} / \text{h}$ 程度となる。

機器故障率の推定(3)

✓ 他の解析事例で採用した値

(1) Motor/Air operated valve

failure of open/close action $3.6 \times 10^{-3}/D$

failure during usage $2.0 \times 10^{-7}/\text{hour}$

failure during standby $2.0 \times 10^{-8}/\text{hour}$

(2) Pump

fails to start $2.7 \times 10^{-2}/D$

failure during operation $1.0 \times 10^{-6}/\text{hour}$

(3) Turbine

fails to start $2.7 \times 10^{-2}/D$

failure during operation $1.0 \times 10^{-6}/\text{hour}$

(4) Turbine generator

fails to start $1 \times 10^{-4}/D$

failure during operation $1.0 \times 10^{-6}/\text{hour}$

(5) Condensate water storage tank

failure during operation $2.8 \times 10^{-8}/\text{hour}$

RSS

1×10^{-3}

3×10^{-5}

1×10^{-3}

3×10^{-6}

✓ 他の解析事例で採用した値(2)

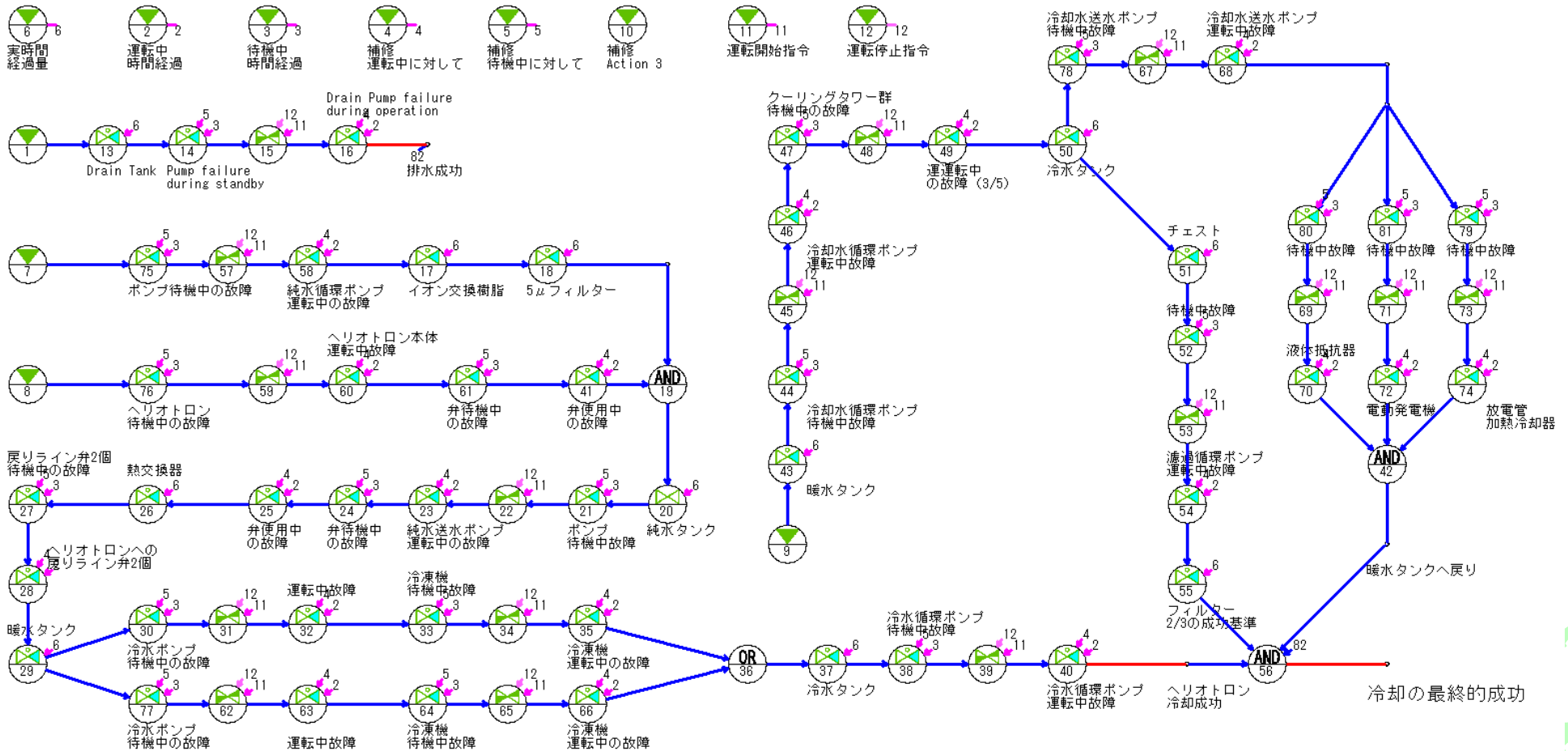
Components	Capacity	Lifetime	Failure rate	
Solar panel	maximum 20kWh/day	30years	3.8E-6/h	Failure
Rechargeable battery	20kWh	10years	1.14E-5/h	Failure
Fuel cell	10kWh/day	60,000h	1.67E-5/h	Failure
Motor		50,000h	2E-5/h 1.1E-4/D	Failure to run Failure to start
Pump		50,000h	2E-5/h	Failure to run
H ₂ tank			1.2E-7/h	Leak & Plug
O ₂ flow			1E-8/h	Plug
DC-AC inverter			2.8E-7/h	Failure

本解析で設定した故障率

機器	条件	故障率	備考
ヘリオトロン本体	使用中の故障	2.0E-6/h	
	待機中の故障	2.0E-7/h	
ポンプ、冷凍機、クーリングタワー、 液体抵抗器、電動発電機、 放電管加熱冷却器	起動失敗	1.0E-3/D	考慮しない
	運転中の故障	1.0E-6/h	
	待機中の故障	1.0E-7/h	
弁	使用中の故障	2.0E-7/h	
	待機中の故障	2.0E-8/h	
タンク等その他の機器	経年劣化 (時間経過に伴う故障)	2.8E-8/h	

GO-FLOW チャートへのモデル化

- ◆ 系統図及び機器の動作、保守点検を考慮してGO-FLOWチャートを作成すると次ページの様になる。

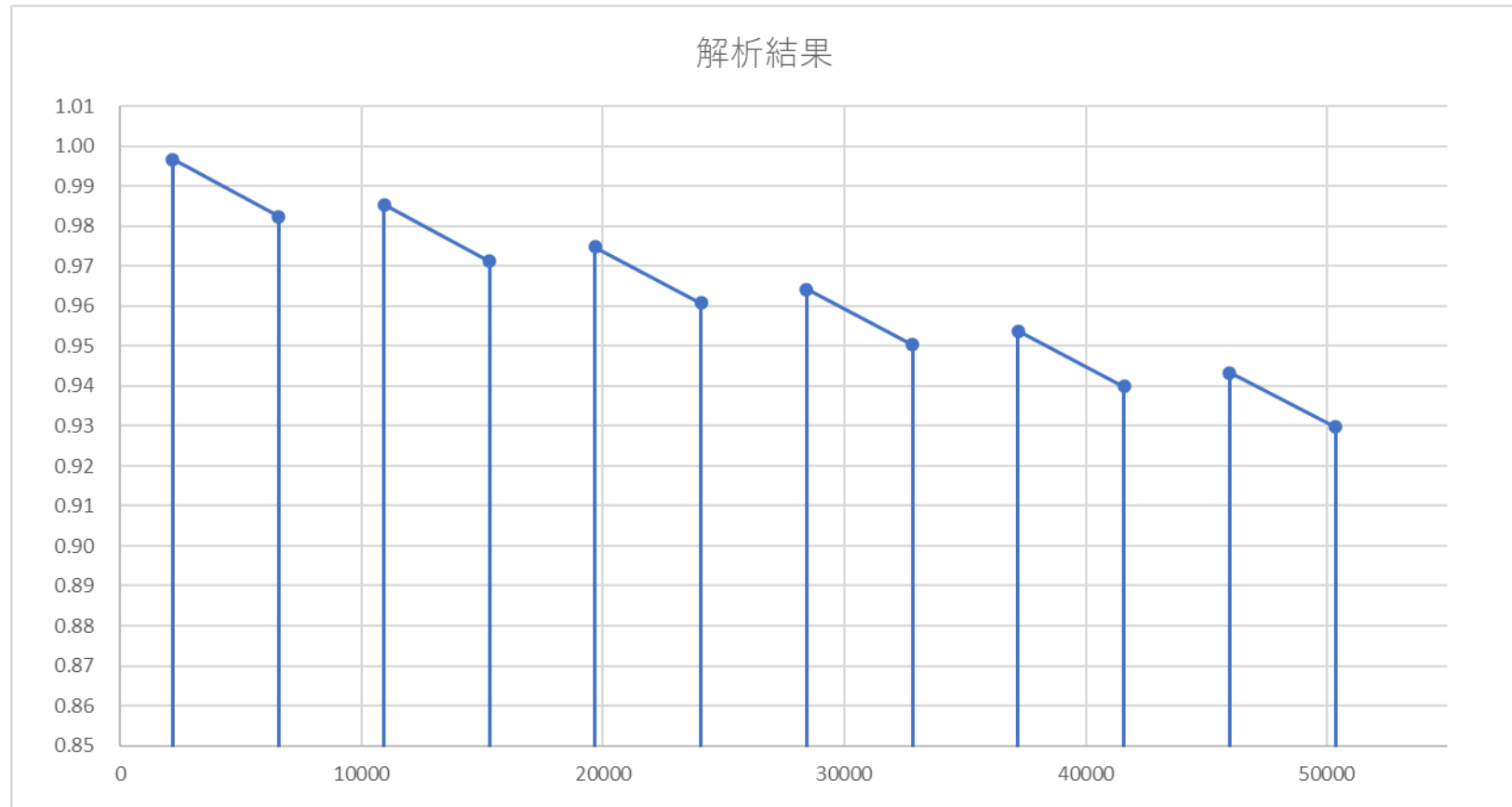


解析のための時間シーケンスの定義

Time point	意味	月日(週)	経過時間	運転時間	待機時間	開始指令	停止指令	運転に対する補修	待機に対する補修
1	1年目	!(1/1)	0	0	0				
2		4/1(13週)	2160	0	2160				
3	運転開始	4/1(13週)	2160	0	2160	1			
4		9/30(40週)	6552	728	5824				
5	運転終了	9/30(40週)	6552	728	5824		1		
6	補修実施	10/1(41週)	6576	0	5848			-728	-5848
7	2年目	!(1/1)	8760	0	8032				
8		4/1(13週)	10920	0	10192				
9	運転開始	4/1(13週)	10920	0	10192	1			
10		9/30(40週)	15312	728	13856				
11	運転終了	9/30(40週)	15312	728	13856		1		
12	補修実施	10/1(41週)	15336	0	13880			-728	-8032
13	3年目	!(1/1)	17520	0	16064				
14		4/1(13週)	19680	0	18224				
15	運転開始	4/1(13週)	19680	0	18224	1			
16		9/30(40週)	24072	728	21888				
17	運転終了	9/30(40週)	24072	728	21888		1		
18	補修実施	10/1(41週)	24096	0	21912			-728	-8032
19	4年目	!(1/1)	26280	0	24096				
20		4/1(13週)	28440	0	26256				

解析のための時間シーケンスの定義(続き)

Time point	意味	月日(週)	経過時間	運転時間	待機時間	開始指令	停止指令	運転に対する補修	待機に対する補修
21	運転開始	4/1(13週)	28440	0	26256	1			
22		9/30(40週)	32832	728	29920				
23	運転終了	9/30(40週)	32832	728	29920		1		
24	補修実施	10/1(41週)	32856	0	29944			-728	-8032
25	5年目	!(1/1)	35040	0	32128				
26		4/1(13週)	37200	0	34288				
27	運転開始	4/1(13週)	37200	0	34288	1			
28		9/30(40週)	41592	728	37952				
29	運転終了	9/30(40週)	41592	728	37952		1		
30	補修実施	10/1(41週)	41616	0	37976			-728	-8032
31	6年目	!(1/1)	43800	0	40160				
32		4/1(13週)	45960	0	42320				
33	運転開始	4/1(13週)	45960	0	42320	1			
34		9/30(40週)	50352	728	45984				
35	運転終了	9/30(40週)	50352	728	45984		1		
36	補修実施	10/1(41週)	50376	0	46008			-728	-8032
37	6年目終了	12・31(52週)	52560	0	48192				



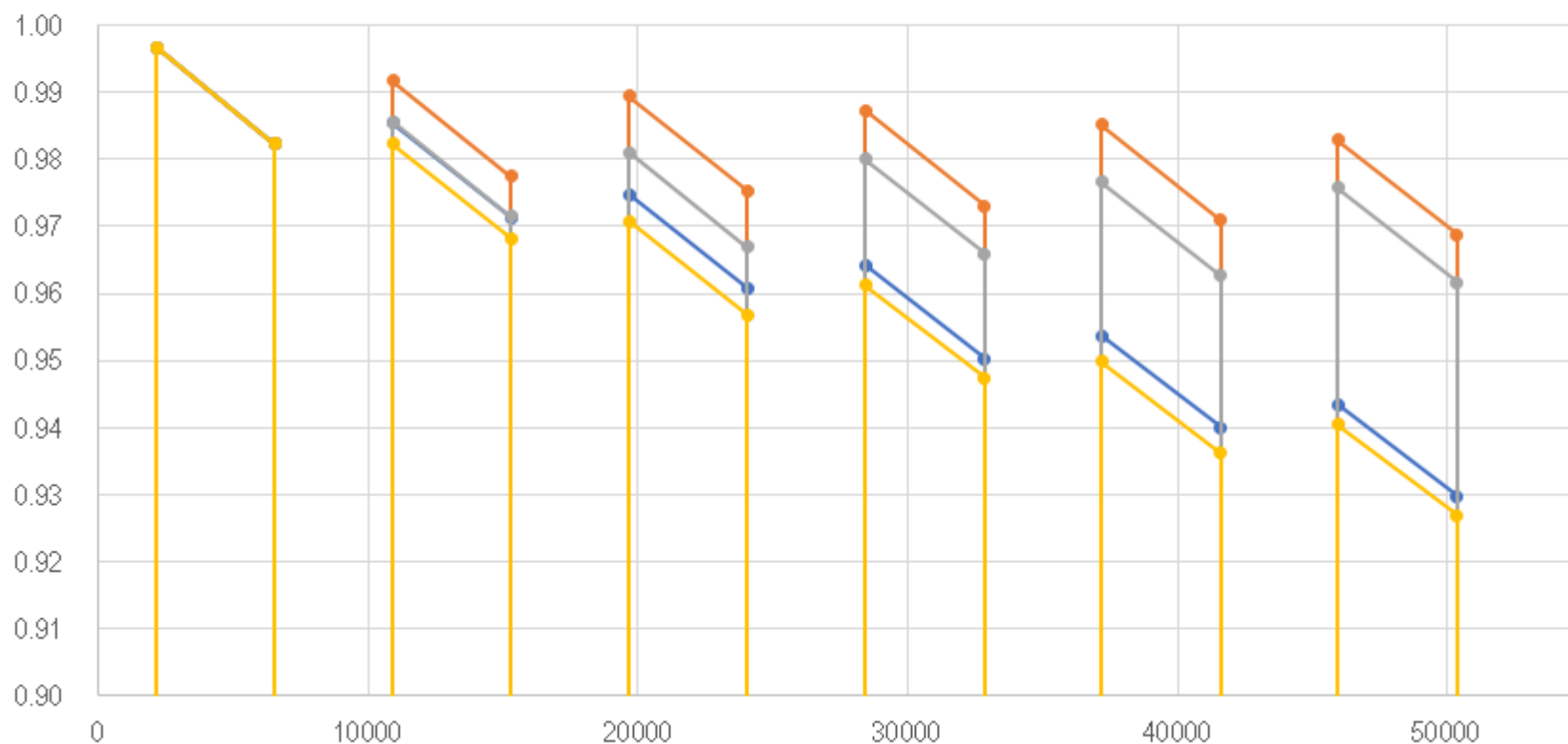
- ◆ ヘリオトロン本体については一年毎の完全な点検保守を実施。
- ◆ ポンプ類、弁については主要故障モードに対する補修を実施。
- ◆ その他の静的機器については点検保守は実施せず。

点検・補修条件の検討

- ◆ ポンプ、冷凍機、クーリングタワー、液体抵抗器、電動発電機、放電管加熱冷却器、弁については待機中の故障モードも対象にした丁寧な点検・補修を実施する。その他の静的機器については点検保守は実施せず。
- ◆ 主要機器を2群にわけ、それぞれ隔年2年毎に丁寧な点検・補修を実施する。
- ◆ 主要機器を2群にわけ、それぞれ隔年2年毎に運転中故障モードに対応した点検・補修を実施する。

解析結果(2)

● 運転中故障の修復 ● 待機中の不具合も修復 ● 隔年で交互に修復 ● 運転機器のみ隔年補修



解析結果検討

- ◆ 主要機器を2群に分け、それぞれ隔年2年毎に丁寧な点検・補修を実施することにより比較的高い信頼度が得られる。
- ◆ 本GO-FLOWチャートへのモデル化・解析体系ができているので、保守・点検条件を変更した他のケースの解析も容易に実施できる。
- ◆ 今回設定した故障率も容易に変更できる。
- ◆ 考慮必要な機器の付加、システム構成の変更等の解析も既存GO-FLOWチャートの変更で容易に対応可能。

結論

- ◆ ヘリオトロンJの運転において重要な役割を果たしている水冷却系の信頼性解析/アベイラビリティ解析をGO-FLOW手法により実施した。
- ◆ 解析の結果有用な知見が得られた。
- ◆ GO-FLOW解析の今後の適用拡大が期待できる。