

## 超電導応用技術の技術開発のモデル化

表 1 超電導発電機の設定技術レベルと構成要素技術

種類		現状 (金属系)	将来目標 (酸化物系)	将来目標 (金属系)	
構成要素とスペック					
容量		70 MVA 級	200 MVA 級	600 MVA 級	
効率		99% 超			
コスト目標		—	現用機と経済的競争力を持つレベル		
発電機本体	電機子巻 線技術	電機子電流[A]	6,500	6,000 級	15,000 級
		電流密度 [A/cm <sup>2</sup> ]	110	110 級	140 級
	界磁巻線 技術	界磁電流[A]	3,000	5,000 級	6,000 級
		電流密度 [A/mm <sup>2</sup> ]	60	70 級	80 級
	回転子技 術	回転子外径 [mm]	885	885 級	1,100 級
冷凍システム	圧縮機技術	油使用	油／オイルフリー	オイルフリー	

表 2 超電導変圧器の設定技術レベルと構成要素技術

種類		現状	次期目標	将来目標 *		
構成要素技術と仕様項目など						
変圧器技術 (本体)	容量	1 MVA 級	30 MVA 級	300 MVA 級		
	効率	99%				
	コスト目標		現用機と経済的競争力を持つ レベル			
	相数	単相	三相			
	一次/二次電圧	22/6.9 kV 級	66/6.9 kV 級	275/66 kV 級		
	一次/二次電流	75/150 A 級	250/2500 A 級	630/2650 A 級		
	インピーダンス (%)	5%	22% 級	22% 級		
	導体技術	素線	臨界電流	50 A 級	100 A 級	
			電流密度: $J_e$ (超電導線材)	5 kA/cm <sup>2</sup> 級 Bi2223	5~10 kA/cm <sup>2</sup> 級 Bi2223	5~10 kA/cm <sup>2</sup> 級 Bi2223 or Y 系
			交流損失	~1 mW/A・m	~0.2 mW/A・m 以下	
			単位線材長	1 km 級	2 km 級	3 km 級
			機械的強度 (0.2% 耐力)	120 MPa 以上かつ臨界電流劣化がないこと		
		動作温度	~66 K (冷媒: 過冷却液体窒素)			
	電気絶縁技術		77K 液体窒素絶縁 データを参考に 設計	66K 過冷却液体窒素絶縁データに 基づく設計		
冷却技術 (システム)		既存冷凍機の適用 (2~300W 級)	kW 級専用過冷却液体窒素供給 装置			

表 3 直流用超電導ケーブルの設定技術レベルと構成要素技術

構成要素技術と仕様項目など	種類	直流用超電導ケーブル (10GW 級)	
送電容量	10GW 級 (電圧±100kV、電流 50kA)		
送電距離	100km 以上		
価格	100km 程度の距離において常電導ケーブルと競合できる程度の価格		
送電損失 (冷却損失込、ただし直交変換損失は除く)	0.2W/m 程度		
温度	77K (液体窒素)	77K を超える温度 (液体窒素以外の冷媒)	
超電導線材	Bi2223 (77K)、 Y123 (77K)	77K を超える温度帯で利用可能な高 T <sub>c</sub> 材料	
ケーブル冷却技術	冷凍機技術		
熱絶縁技術	熱絶縁技術 (長尺断熱管路の製造技術、断熱管路の接続技術、真空低下時の対策等)		
ケーブル接続技術	冷却時の収縮対策		

表 4 交流用超電導ケーブルの設定技術レベルと構成要素技術

種類 要素技術と 仕様項目など	交流用超電導ケーブル (1GW 級)	
送電容量	1GW 級	
送電距離	30km 以上	
価格	30km 程度の距離において常電導ケーブルと競合できる程度 の価格	
送電損失 ( 導体損、誘電体損、 シース損、冷却損 )	2.8 W/m 程度 ( 導体損、誘電体損、シース損 )	
温度	77K ( 液体窒素 )	77K を超える温度 ( 液体窒素以外の冷媒 )
超電導線材	Bi2223 ( 77K ) 、 Y123 ( 77K )	77K を超える温度帯で利用可 能な高 Tc 材料
交流損失低減技術	フィラメントの細線化、ツイスト化、高抵抗バリア の導入等	
ケーブル冷却技術	冷凍機技術 ( 長距離冷却、数 km おきにステーションを 設ける。 )	
熱絶縁技術	熱絶縁技術 ( 長尺断熱管路の製造技術、断熱管路の接続技術、 真空低下時の対策等 )	
ケーブル接続技術	冷却時の収縮対策	

表5 SMESの設定技術レベルと構成要素技術

種類 構成要素技術と 仕様項目など	SMES（負荷変動補償・ 周波数調整用）	SMES（負荷変動平準化用）
規模	1 MWh 級	10 MWh 級
貯蔵効率	90%程度	
貯蔵費用	競合できる程度の価格 (35万円/kW程度)	競合できる程度の価格 (30万円/kW程度)
耐用年数（参考値）	30年程度	
交直変換技術	高効率な交直変換機	
冷却技術	冷凍機	
断熱技術	高性能な断熱器（真空断熱容器）	
超電導体	NbTi、Nb3Sn(4K)、Bi2212(20K)、Bi2223、Y123(77K)、 その他	
永久電流スイッチ	ON時の抵抗を小さく、OFF時の抵抗を大きくする。ON復帰時間を早くする（現状100ms）。大容量化が課題。	

表6 超電導フライホイールの主な特性と構成要素

種類 構成要素技術 と仕様項目など	超電導フライホイール (負荷変動補償・ 周波数調整用)	超電導フライホイール (負荷平準化用)
規模	1 MWh 級	10 MWh 級
貯蔵効率	85%程度	
貯蔵費用	競合できる程度の価格 (35万円/kW)	競合できる程度の価格 (30万円/kW)
耐用年数 (参考値)	30年程度	
温度	77K（液体窒素）	
冷却技術	冷凍機	
超電導体	Y系、その他バルク材	
発電電導機	発電電導機	
フライホイール	高強度複合材料を用いたフライホイール	

表 7 超電導応用技術と材料の種類

応用技術 材料種類	超電導 発電機	超電導 変圧器	超電導 ケーブル	SMES	超電導フライ ホイール
Nb-Ti 線材 (~10K)。実用線材の主流。	○			○	
Nb <sub>3</sub> Sn 線材 (~18K) Nb-Ti より高磁界 で使用可能。				○	
Bi2212 (Bi <sub>2</sub> Sr <sub>2</sub> CaCu <sub>2</sub> O <sub>y</sub> ) 線材 (一般的に 4~20K)				○	
Bi2223 (Bi <sub>2</sub> Sr <sub>2</sub> CaCu <sub>3</sub> O <sub>y</sub> ) 線材 (一般的に 20~77K)	○	○	○	○	
Y 系 線材 (一般的に 77K)	○	○	○	○	
Y 系 バルク材 (一般的に 77K)					○
高Tc (高臨界温度) 材料と して想定される材料 (温度 帯 77Kを超える: Hg系材料 など、低温: MgB <sub>2</sub> など)	○	○	○	○	○

○: ネットワークチャートモデルで考慮しているもの

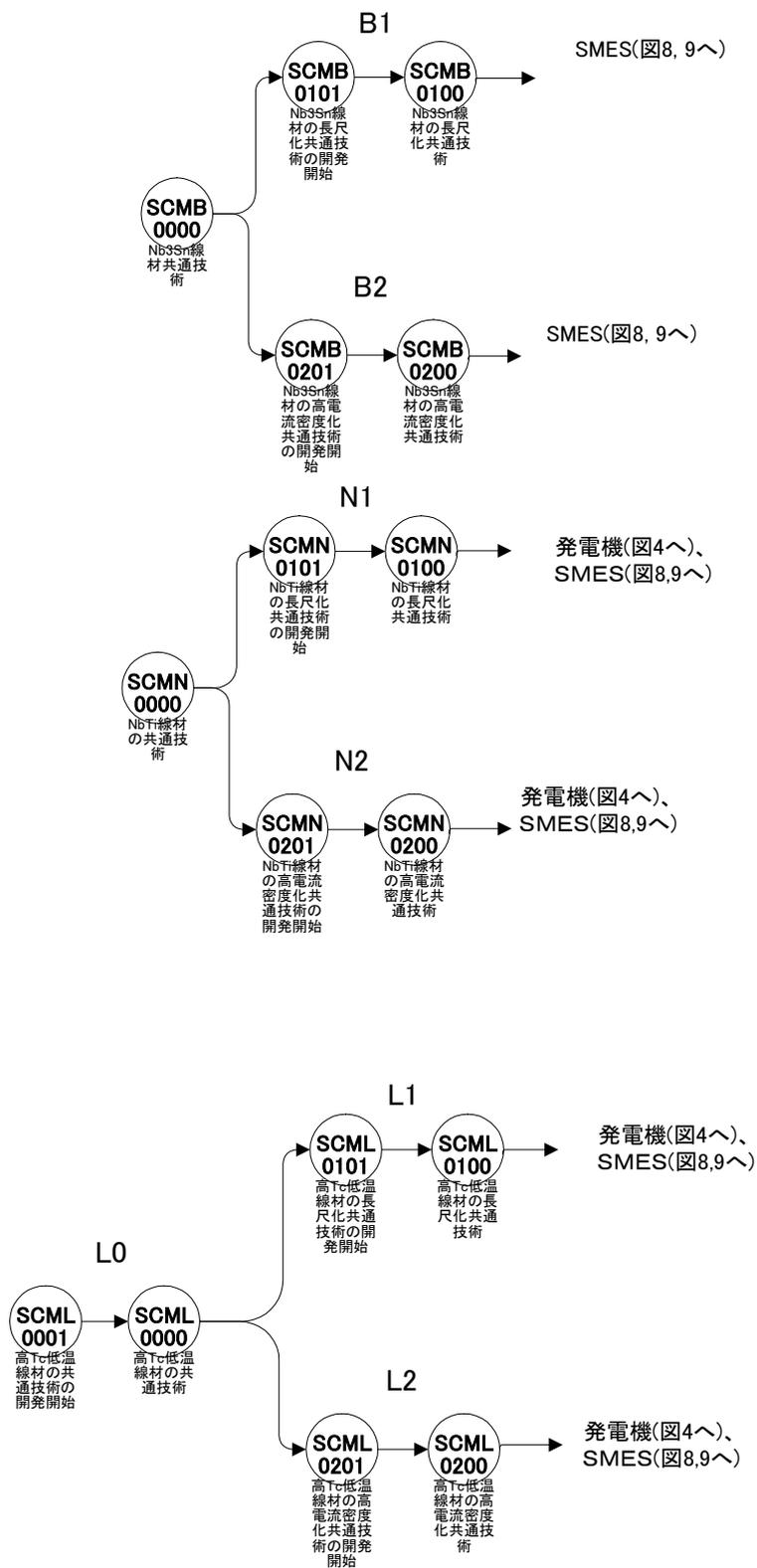


図 1 低温材料技術 (T<sub>c</sub> 温度 20~77K 材料) の共通ネットワークチャート

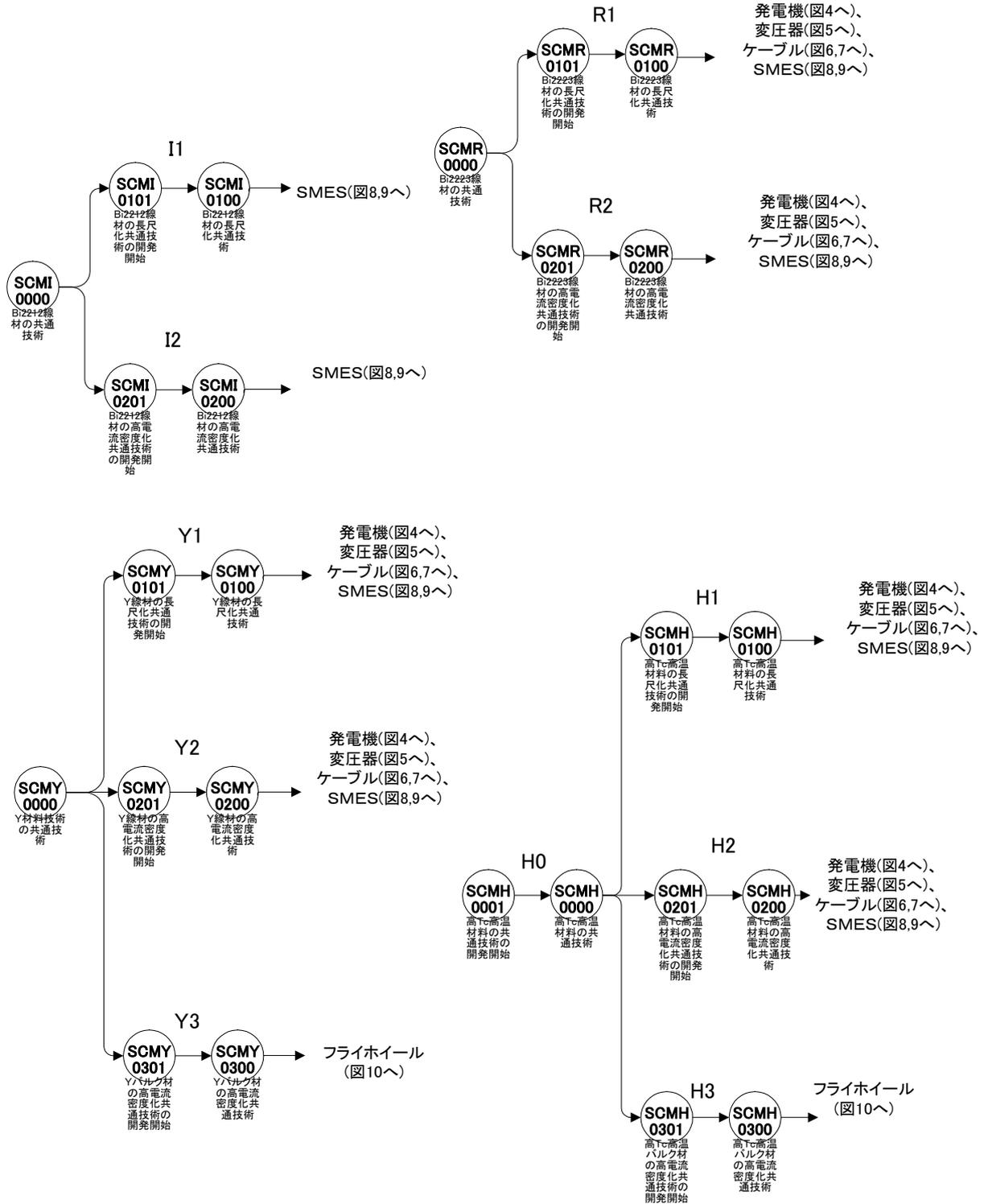


図 2 高温材料技術（77K を超える高 T<sub>c</sub> 温度帯材料）の共通ネットワークチャート

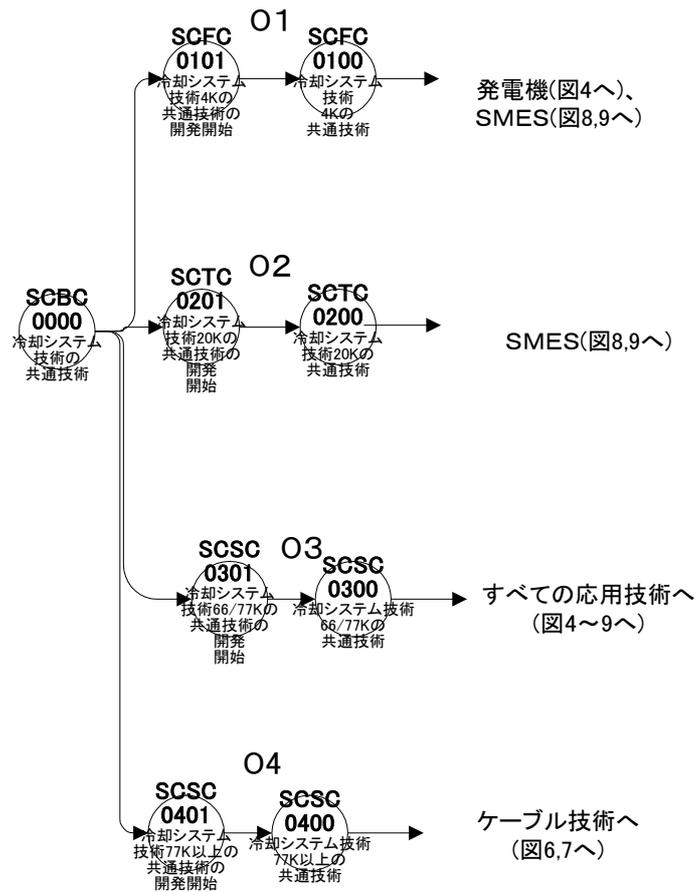


図3 冷却システム技術の共通ネットワークチャート

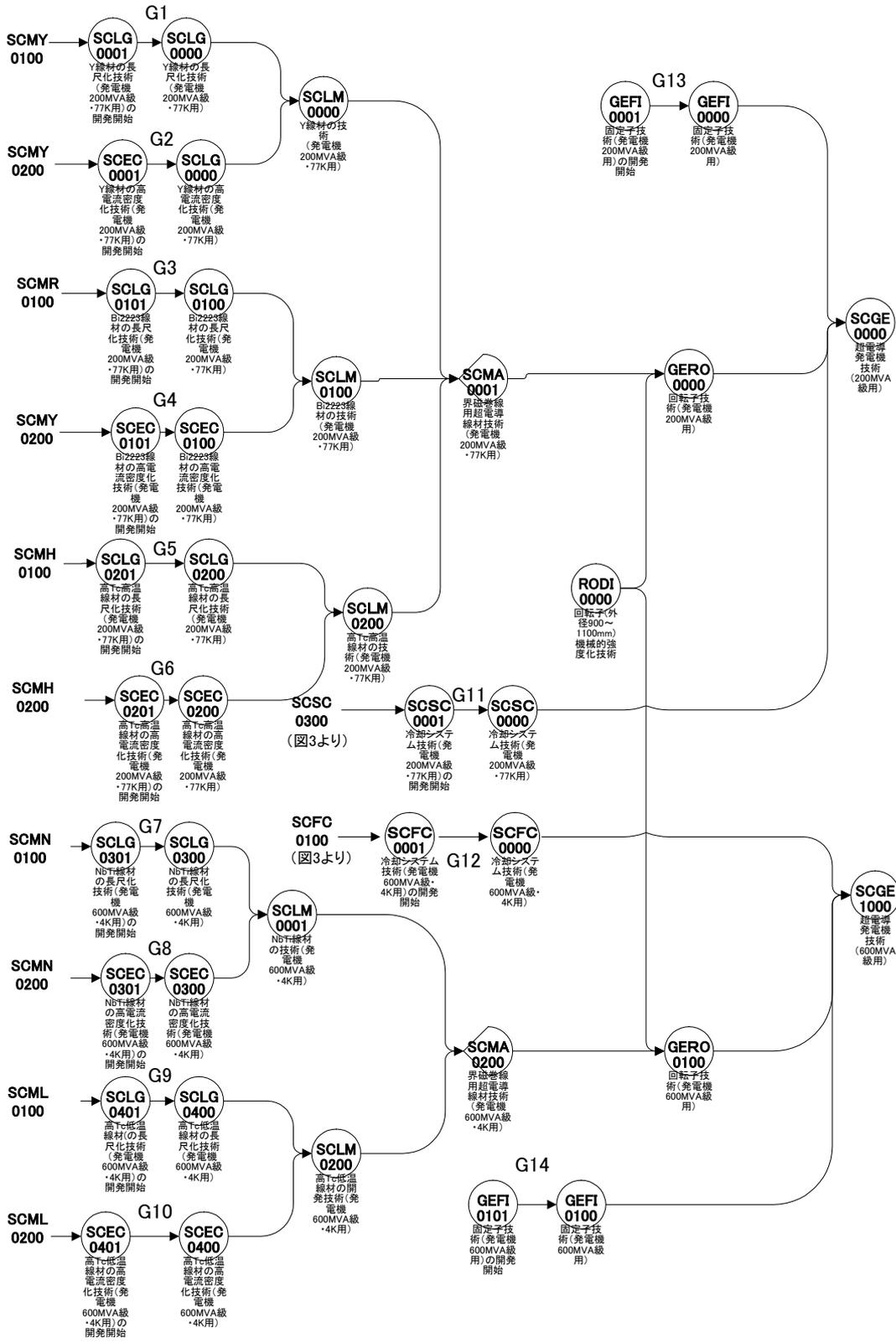


図 4 超電導発電機のネットワークチャート

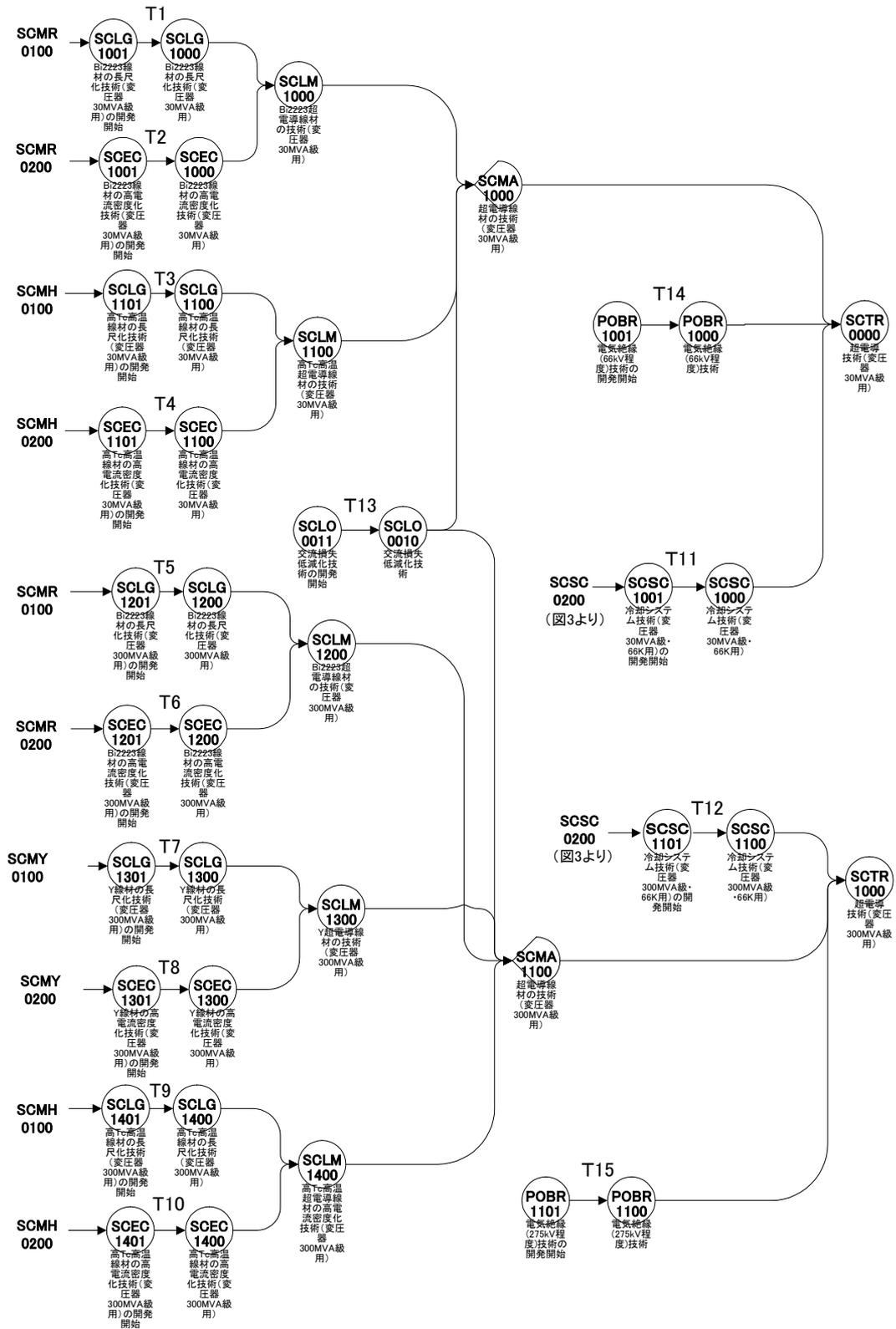


図5 超電導変圧器のネットワークチャート

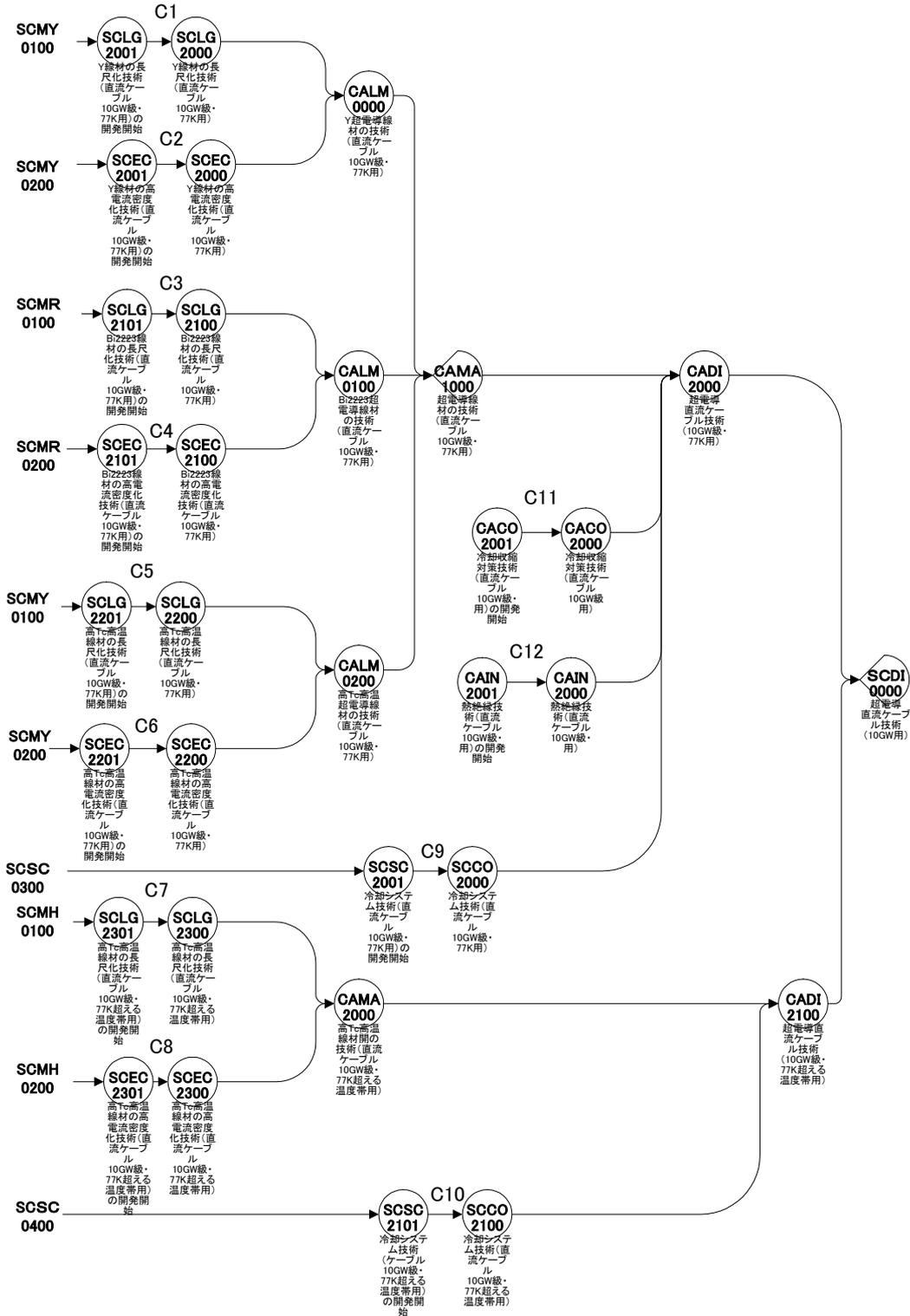


図 6 超電導直流ケーブル 10GW 級のネットワークチャート

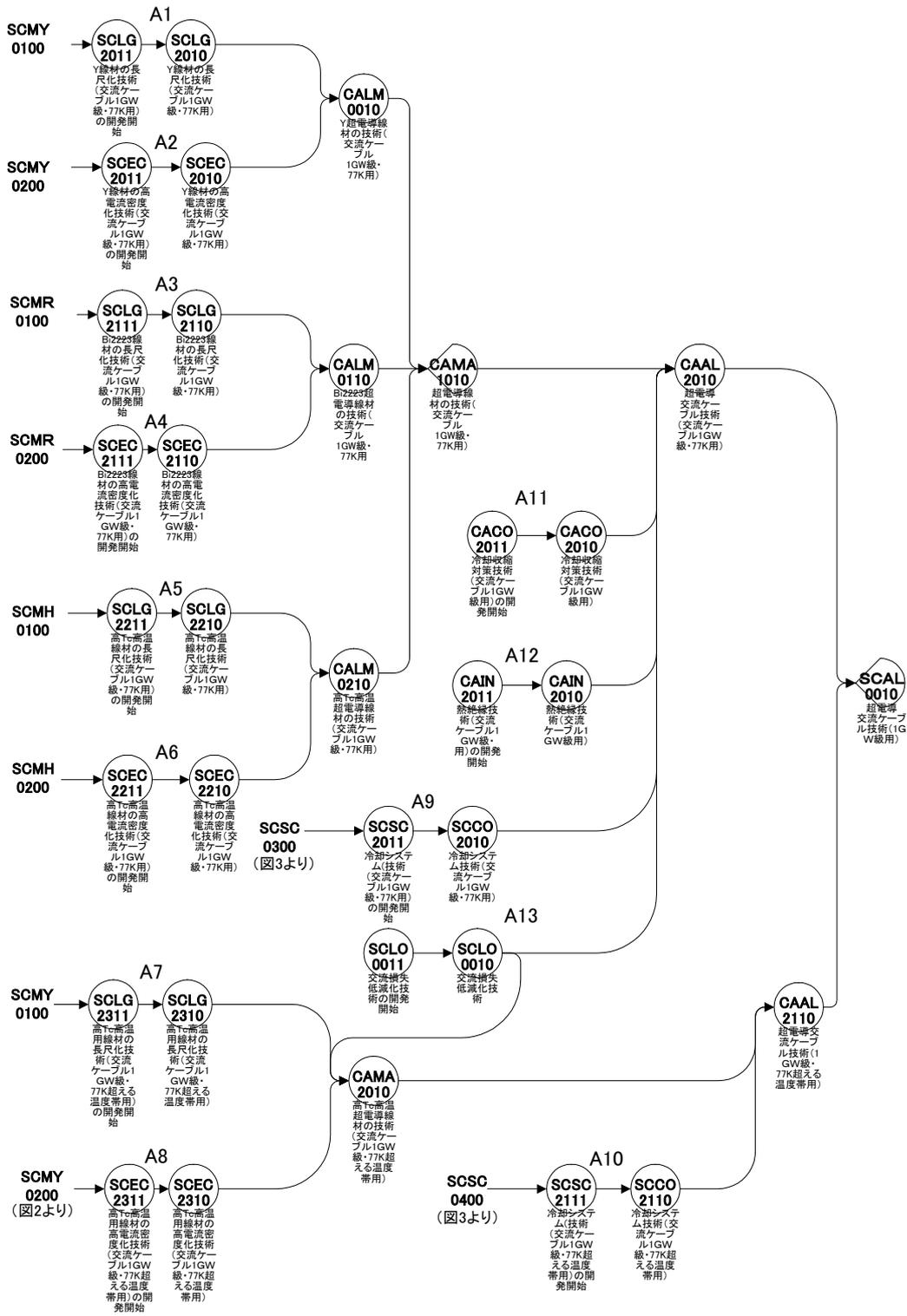


図7 超電導交流ケーブル1GW級のネットワークチャート

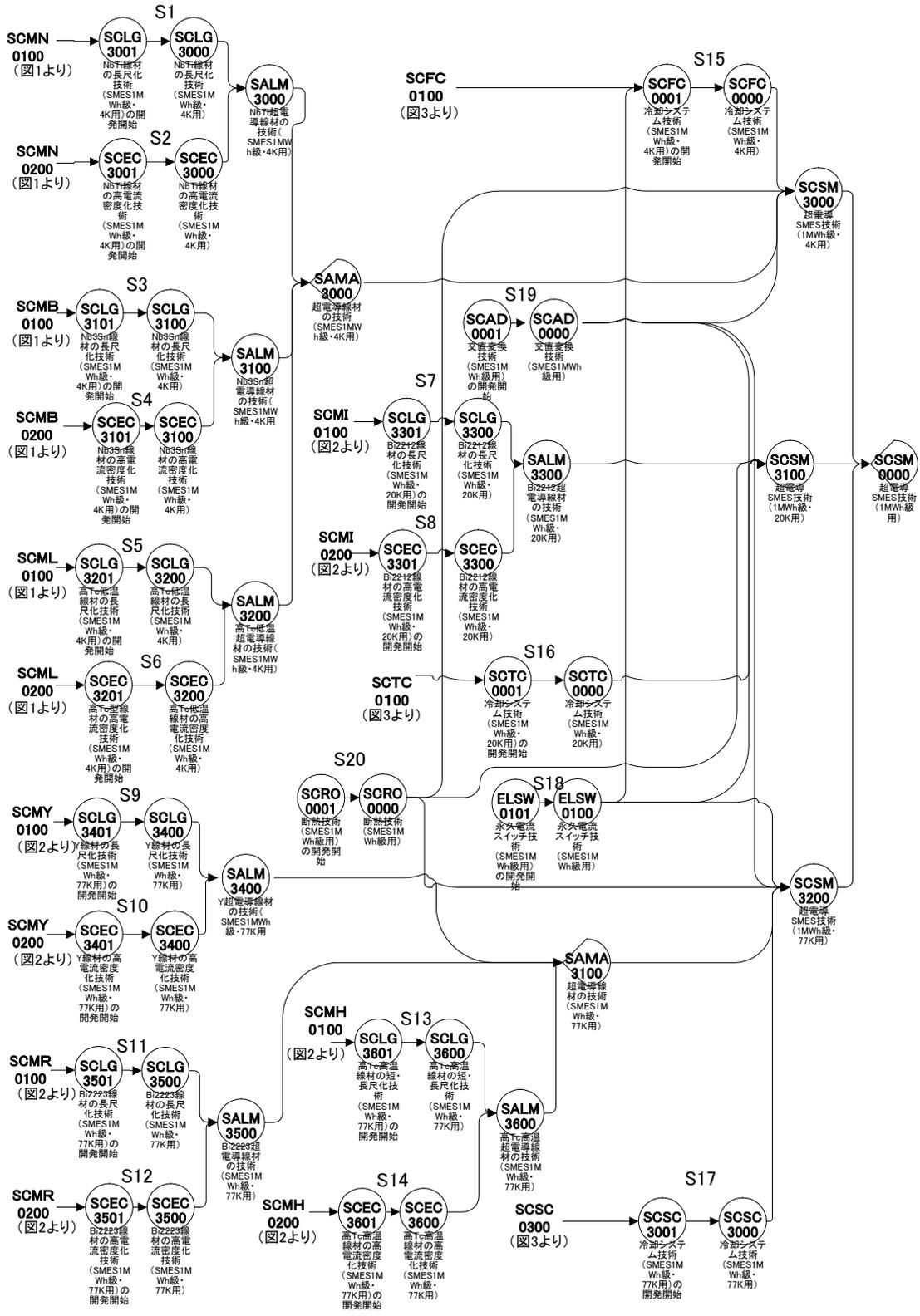


図 8 SMES 1MWh 級のネットワークチャート



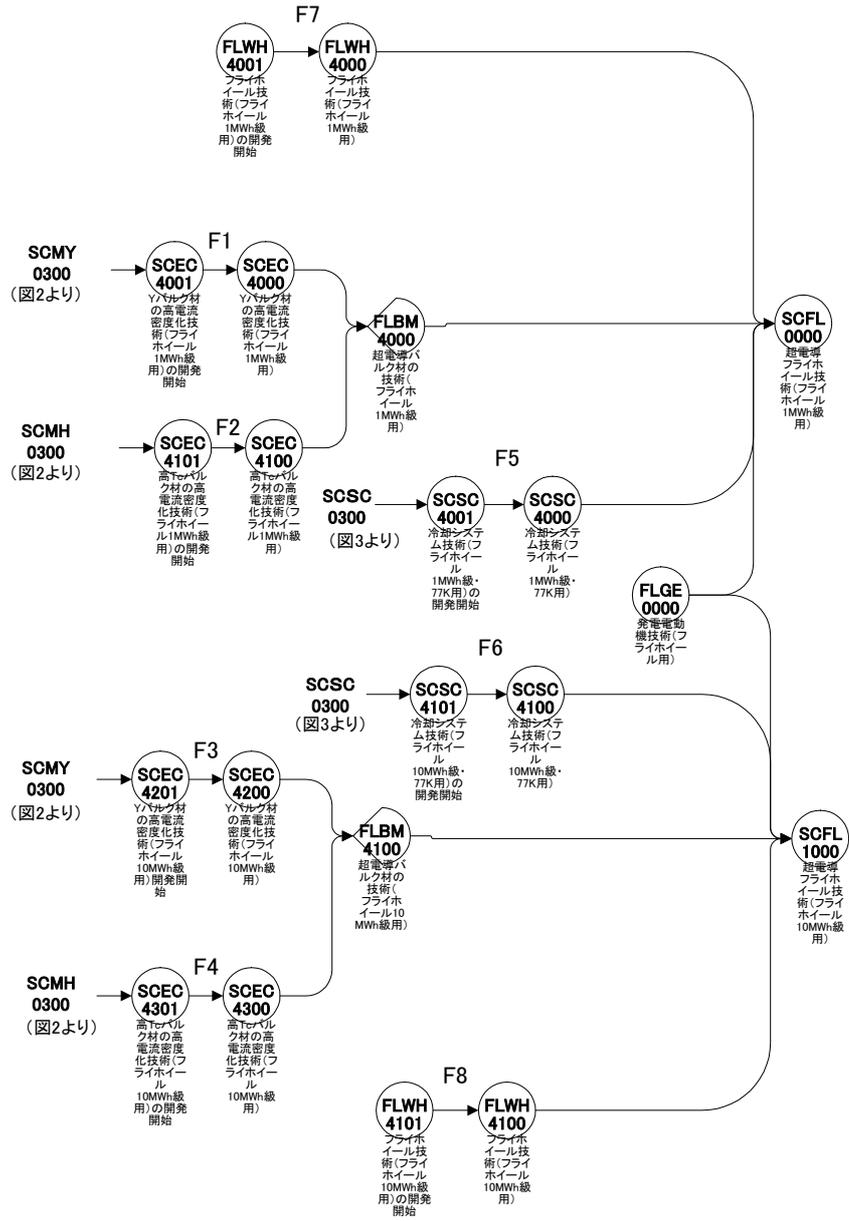


図 10 超電導フライホイールのネットワークチャート