

国内 BWR プラントの非常用電源設備の配置について

平成 23 年 8 月 23 日
電気事業連合会

国内 BWR プラントの非常用電源設備の構成例、及び非常用 DG 等の電源設備の配置設計の変遷を東京電力のプラントを例に示す。

1. 非常用電源設備の構成

図 1～2 に、所内電源の構成の例を示す。

通常運転時には、所内電力は主として発電機から所内変圧器を通して受電するが、送電線より起動変圧器を通して受電することができる。

高圧母線(6.9kV)は、常用母線、非常用母線及び共通用母線で構成されている。低圧母線(480V)についても、常用母線、非常用母線及び共通用母線で構成されている。

所内の機器は、工学的安全施設に関係する機器と一般機器とに分け、それぞれ非常用母線、常用母線に接続している。

非常用高圧母線にはディーゼル発電機(非常用 DG)を接続し、外部電源が完全に喪失した場合には、非常用 DG が工学的安全施設に関係する機器に給電する。

制御用等の電源である直流電源は、蓄電池と充電器、及び直流母線等で構成される。また、計測制御用の交流電源は計測用母線の他に、交流電源と直流電源から受電し、無停電の交流電源を供給する無停電交流電源装置(バイタル母線)で構成される。

2. 非常用 DG 等の電源設備の配置設計の変遷

(1) 国内 BWR プラント導入初期(福島第一 1～5 号機)

- ・ 導入当初においては、米国 BWR を原型として、米国プラント配置を踏襲した設計がなされた。BWR4 プラントまで(福島第一 1～5 号機)は米国からの導入炉をベースとして Mark-I 格納容器を採用し、原子炉建屋は二次格納施設のための単独建屋(原子炉建屋付棟無し)としている。また、非常用 DG、中央制御室等は個別の建屋、もしくはタービン建屋と一体とする配置にしている。電源盤(M/C,P/C)については基本的には電源の負荷先であるポンプ等の近傍に設置する計画とするが、上記と同じ理由(単独建屋)により、タービン建屋に設置している。(補足資料 1、図 3～4 参照)。

- ・地震に対する設計が米国と比較して厳しい条件となるため、原子炉の安全停止に必要な機器、故障により直接事故に導かれる機器、及び事故時に公衆の被ばくを防護する機器が設置される構築物は、岩着する耐震設計方針としている。工学的安全施設の電源となる非常用 DG についても岩着した構造物に設置し、また非常用 DG が重量物であることと振動対策のために地下階の基礎（最地下）に設置する方針とした。
- ・ BWR3 プラント（福島第一 1 号機）の主要な安全設備等の配置例（図 3）では、非常用 DG（A）はサービス建屋の地下 1 階に設置されており、非常用 DG（B）はタービン建屋とサービス建屋に隣接した専用の建屋の地下 1 階に配置されている。また、タービン建屋の 1 階に非常用の電気品（M/C）が配置され、隣接する制御室建屋地下 1 階に直流主母線盤等の電気品が配置されている。また、これらのタービン建屋、制御室建屋、サービス建屋、非常用 DG（B）の建屋は、通路が一体となっており、アクセスが容易な配置となっている。なお、非常用 DG（B）は、当初、隣接号機との共用 DG として設置されたが、共用であることに伴う配置上の制約はなく、非常用 DG（A）と同様に地下 1 階に設置されている。

(2) 導入中期 (Mark-II の導入と複合建屋の標準形式化) (福島第一 6 号機、福島第二 1～4 号機)

BWR5 プラント（福島第一 6 号機、福島第二 1～4 号機）への Mark-II 格納容器の導入にあたり、米国の先行配置形式（単独建屋）に対し、複合建屋方式が採用された。この複合建屋方式は、国内の地震条件から、高・低地震帯いずれにおいても国内 BWR プラントの標準配置形式として採用されたものであり、格納容器を内包する二次格納施設（原子炉建屋原子炉棟）の外側に原子炉建屋付属棟（以下、付属棟）を設置することにより建屋の地震時基礎浮き上り制限（接地率）を向上させるものである。この付属棟に耐震クラスが高く、二次格納施設との関連が強い非常用電気品室及び非常用 DG を設置した方式が標準的となり、これを採用している。

また、非常用 DG については重量物であることと振動対策のために地下階の基礎上に設置している（図 5）。

(3) 導入後期 (BWR 5 から ABWR への移行) (柏崎刈羽 1～7 号機)

先行して建設されたサイト（福島第一、第二）では岩盤レベルが比較

的浅いのに対し、後続で建設されたサイト（柏崎刈羽）では岩盤レベルが深いため原子炉建屋を深く埋め込む必要が生じた。このため、非常用 DG を附属棟の整地面レベルに近い位置(地下1階、あるいは地上1階)に設置してメンテナンス性を重視し、振動対策は建屋の構造にて対処する配置が採用された(図6)。その後、ABWRプラント(柏崎刈羽6,7号機)でもこの考え方が踏襲され、地上1階に非常用 DG を設置することが標準的な配置となった(図7)。

3. まとめ

東京電力のプラントの例では、BWRプラント導入初期の配置設計は、米国プラント配置を踏襲した設計がなされていた。ただし、地震に対する設計が米国と比較して厳しい条件となるため、多くは工学的安全施設の電源となる非常用 DG 等の配置においても岩着した基礎上に設置する方針とした。

その後、標準配置形式の採用により工学的安全施設の電源は原子炉建屋附属棟に配置する方針を採用した。また、非常用 DG は岩着した基礎上に設置した。

さらに非常用 DG については、後続で建設されたサイトの地質を踏まえ、振動対策に配慮しつつメンテナンス性を重視し、地上1階に設置することが標準的な配置となっている。

なお、国内 BWR プラントにおいては、BWR4 プラントでも高地震帯では耐震性を考慮した複合建屋方式を採用し、非常用 DG を地上1階に配置している例もある。また、一部の BWR5 プラントでは、岩盤レベルが比較的浅い場合でも、非常用 DG を整地面レベルに近い位置に設置している例もある(参考資料参照)。

以上

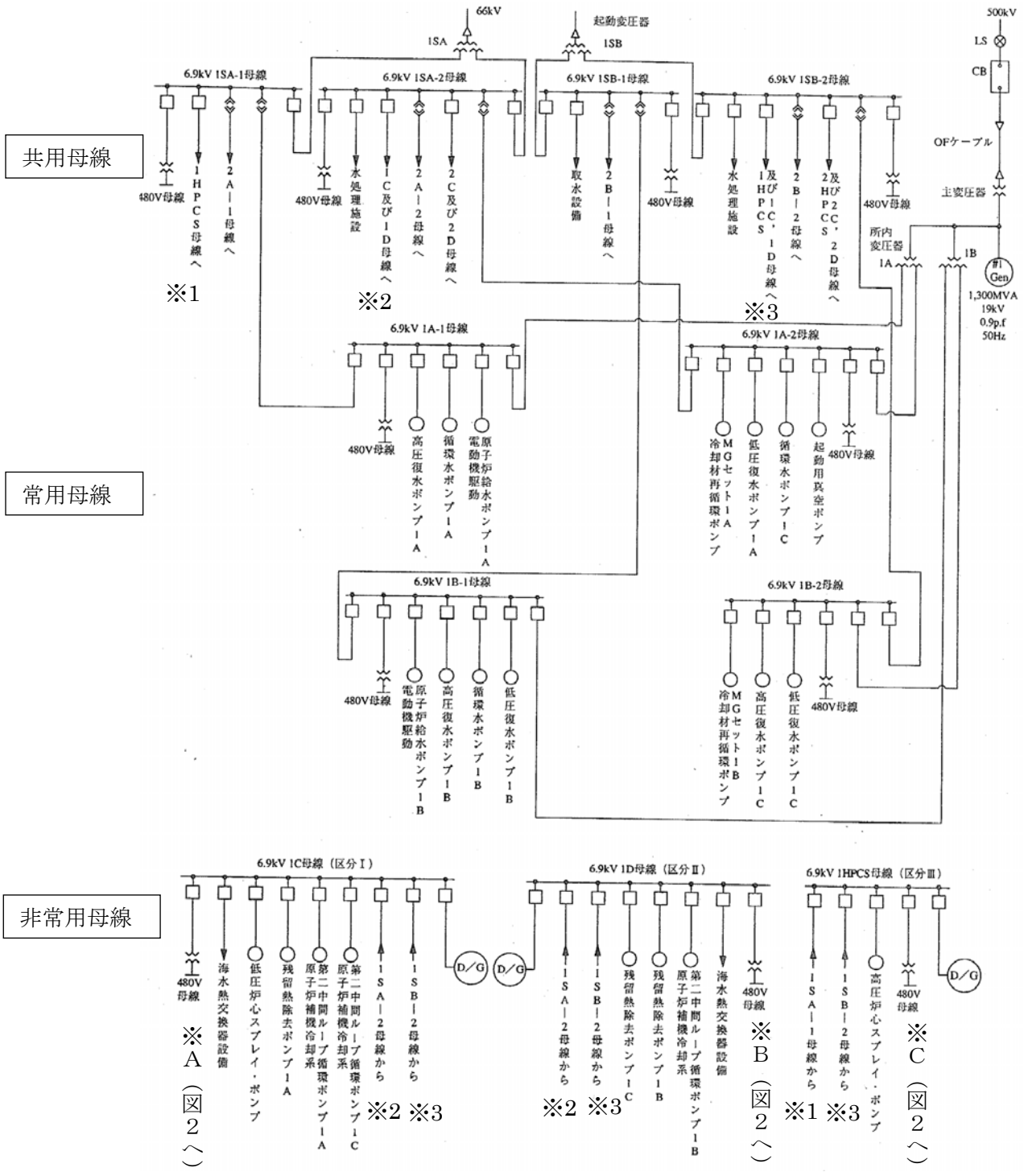


図1 所内電源の構成 (BWR5 プラント) の例 (1/2)

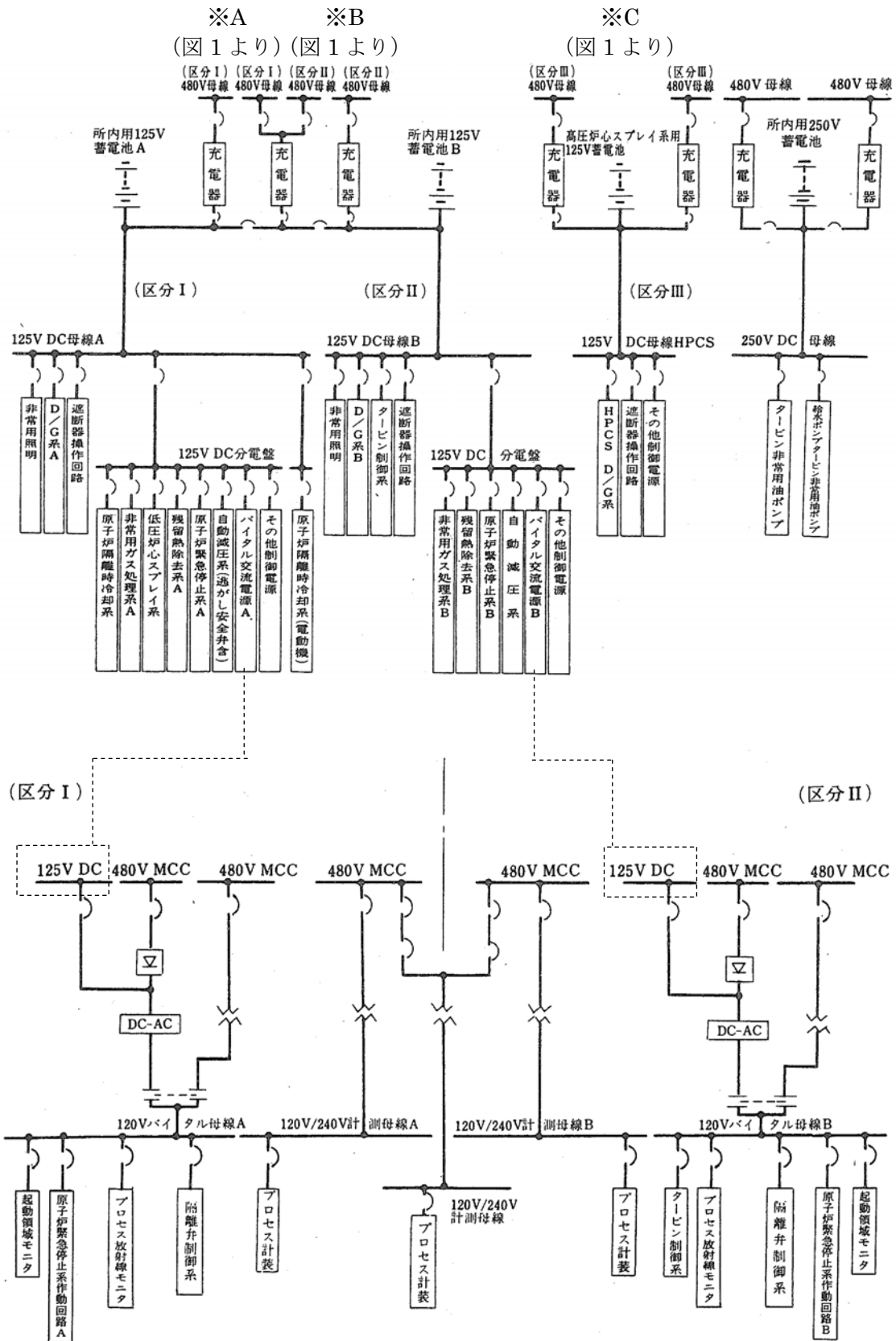


図2 所内電源の構成 (BWR5 プラント) の例 (2/2)

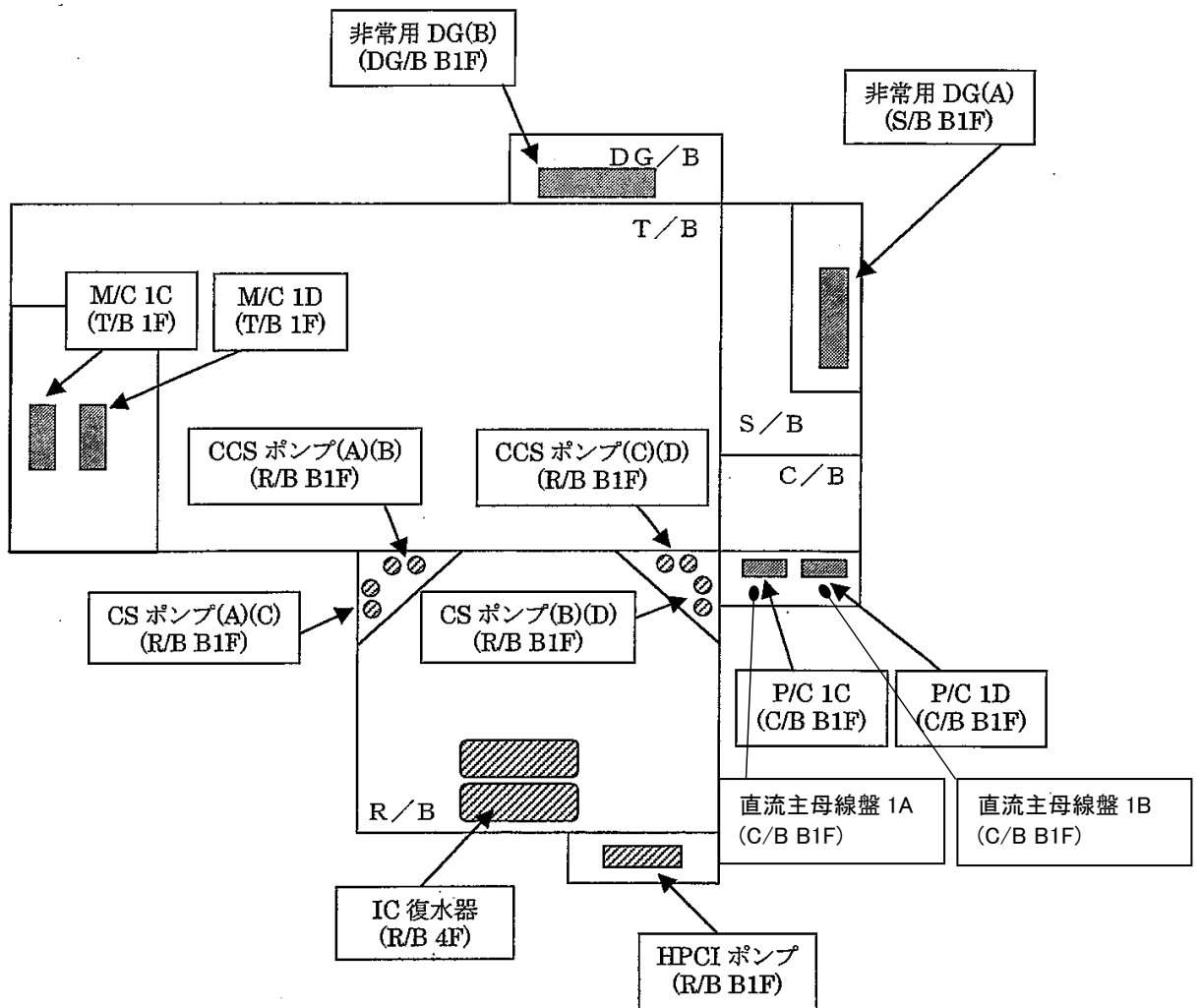


図3 BWR3プラントの主要な安全設備等の配置例

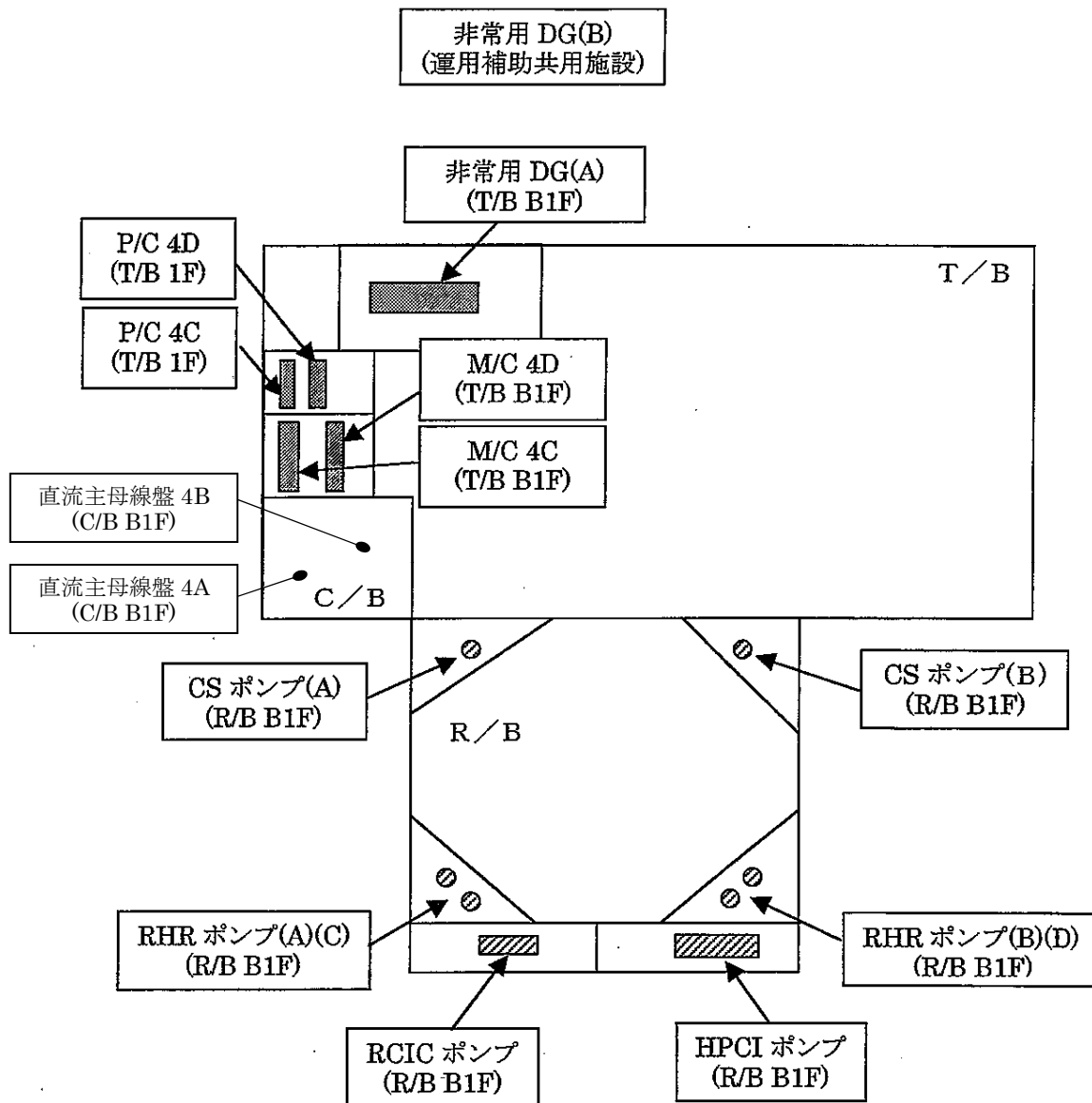


図4 BWR4プラントの主要な安全設備等の配置例

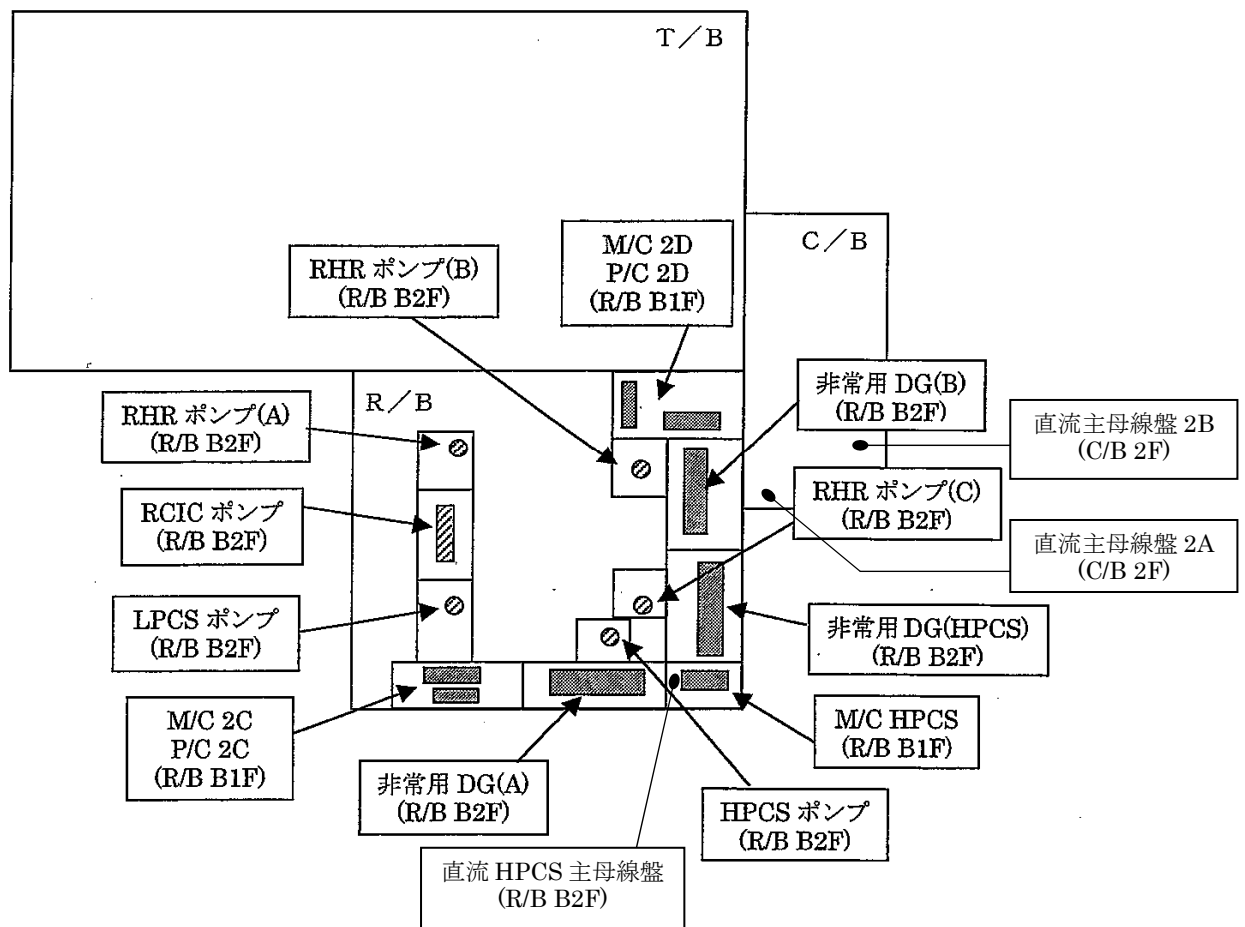


図5 BWR5 プラント（先行建設サイト、最地下階：B2F）の
 主要な安全設備等の配置例

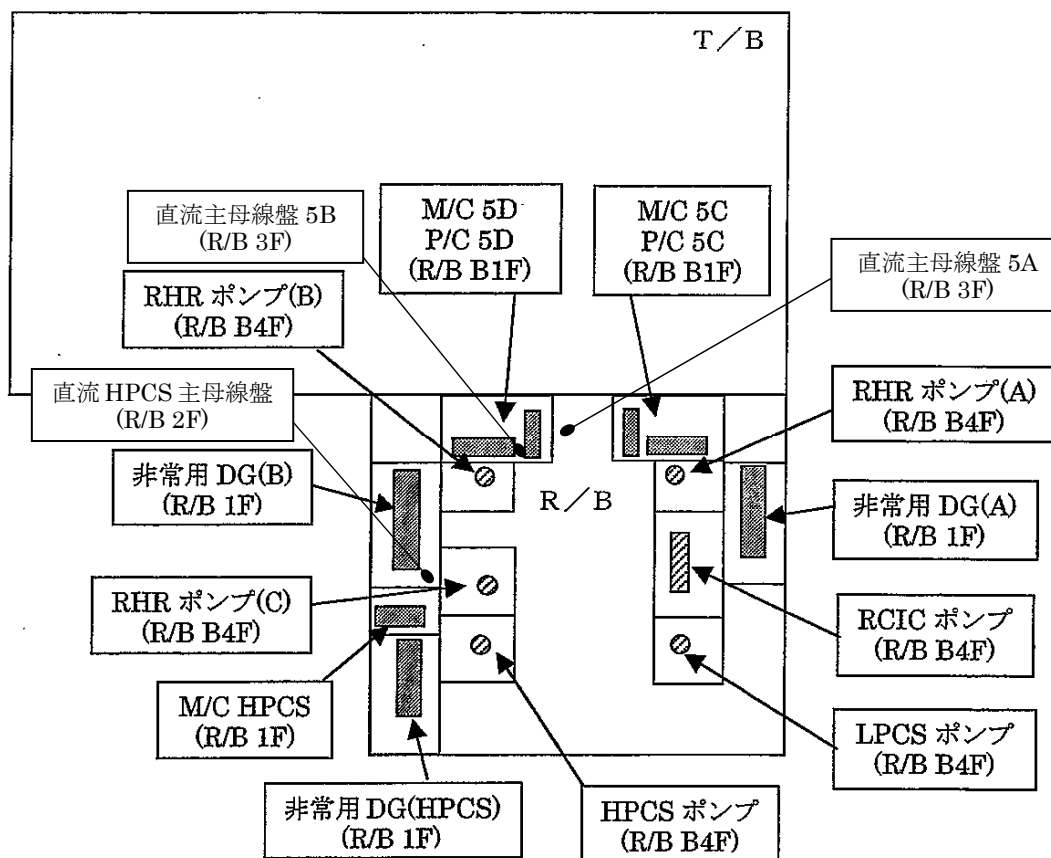


図6 BWR5 プラント（後続建設サイト、最地下階：B4F）の
 主要な安全設備等の配置例

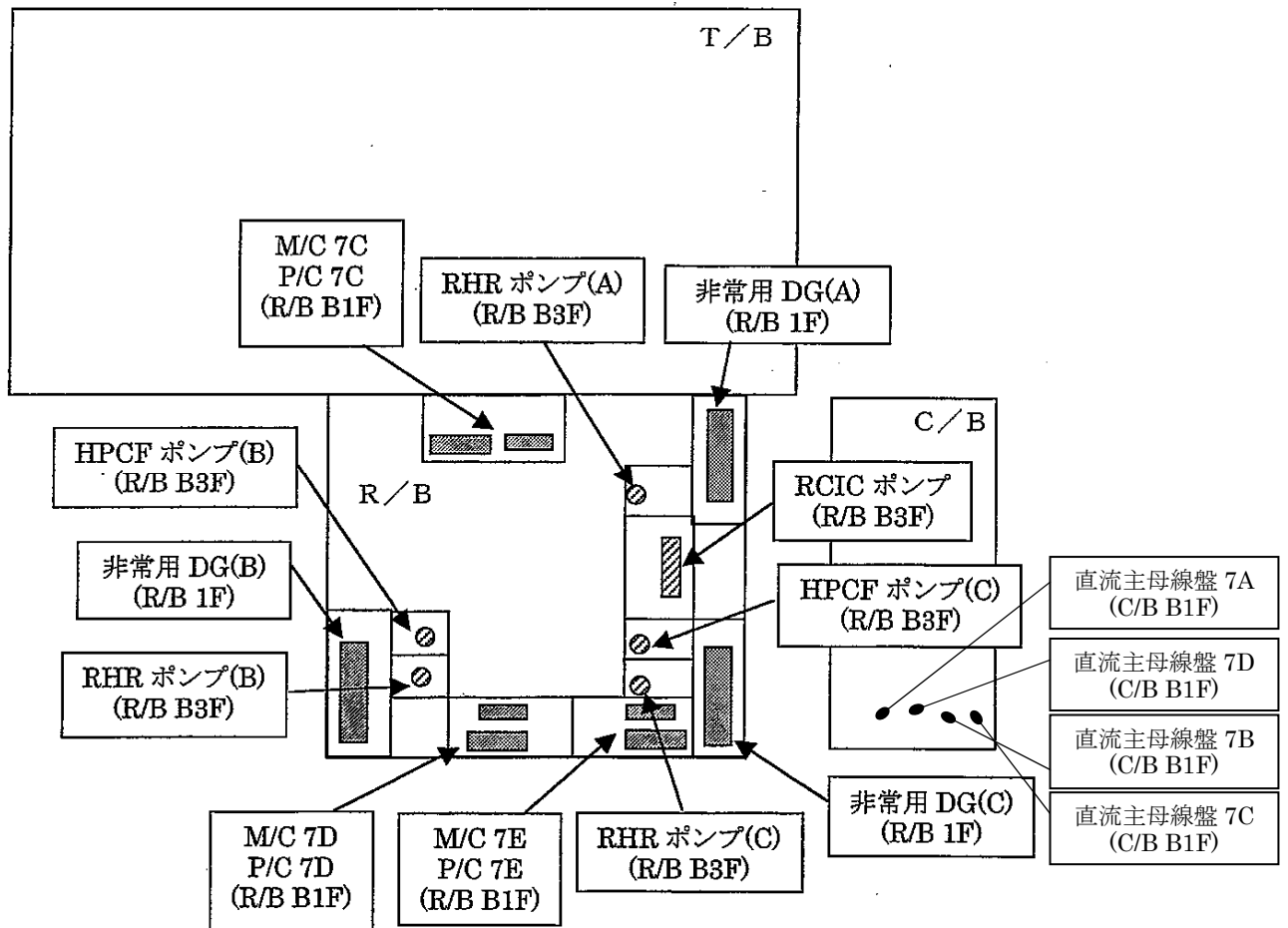


図7 ABWRプラントの主要な安全設備等の配置例

米国プラントの配置設計

BWR3 プラントの設計が実施された 1965 年～1968 年頃に、米国にて建設が着工されていたプラントにおける非常用 DG 及び電気品の配置について確認した結果を表 1 に示す。

- ・ 原子炉建屋は二次格納施設のための単独建屋で、タービン建屋、制御室建屋、DG 建屋等の個別建屋で構成されている。一部のプラントでは、これらの建屋が一体となる構成のプラントもある。
- ・ 耐震条件が厳しくないことから、原子炉建屋以外の建屋は基礎を岩着させていないため、地下階を有する構造とならない。
- ・ プラントの冷却方式として海水冷却を採用している場合は、海水取水レベルとタービン建屋基礎レベルについて配置上制約されるが、米国では海水冷却のプラントが少なく、タービン建屋基礎レベルを深くする必要がない。
- ・ 非常用 DG については単独建屋配置が多く、一部のプラントでタービン建屋に配置されているプラントもある。また、非常用 DG は建屋 1 階に配置されている。
- ・ 電気品についてはタービン建屋に配置されているプラントが多い。電気品については建屋の 1 階以上に配置されている例が多いが、地下階に配置されている事例もある。

以上の調査結果では、非常用 DG や電気品はタービン建屋等に配置されているが、非常用 DG は地下階に配置されている事例はなく、電気品の一部が地下階に配置されている事例があった。これは、米国では原子炉建屋を除き、設計条件として建屋基礎を深くして地下階を設ける構造とする必要がないためと考えられる。

当時の米国プラントは、原子炉建屋は二次格納施設のための単独建屋となっている。また、非常用 DG、中央制御室等は個別の建屋、もしくはタービン建屋と一体とする配置としており、原子炉建屋以外に非常用 DG、電気品を設置するのは、当時としては標準的な配置であった。また、非常用 DG はタービン建屋の一部に配置されている設計事例もある。

表1 米国 BWR プラントの配置設計事例

プラント名	電気出力 (MWe)	冷却方式	非常用 DG 配置	電気品 配置
Plant-A	1065	河川水 冷却塔	独立建屋 1F	T/B 1F
Plant-B	794	湖水 (人造)	T/B+R/B 隣接建屋 1F	T/B 2F
Plant-C	794	湖水 (人造)	T/B+R/B 隣接建屋 1F	T/B 2F
Plant-D	755	河川水 冷却塔	独立建屋 1F	C/B 1F
Plant-E	545	河川水 冷却塔	独立建屋 1F	T/B 1F/B1F
Plant-F	1065	河川水 冷却塔	独立建屋 1F	T/B 1F
Plant-G	670	海水	独立建屋 1F	T/B 1F/2F
Plant-H	789	河川水	T/B+R/B 隣接建屋 1F	T/B 2F/3F
Plant-I	514	河川水 冷却塔	T/B 1F	T/B 1F/B1F

R/B : 原子炉建屋

T/B : タービン建屋

C/B : 制御室建屋

独立建屋 : DG 建屋

国内 BWR の炉型、原子炉建屋等について

表に国内 BWR プラントの炉型、格納容器型式、原子炉建屋、及び非常用 DG の配置を示す。

表 国内BWRの炉型、格納容器型式、原子炉建屋、及び非常用DG配置

(順不同)

設置者名	発電所名	原子炉設置許可年月日	電気出力(万kW)	炉型	格納容器型式	原子炉建屋	非常用DG配置
日本原子力発電	東海第二	1972/12/23	110.0	BWR5	MARK-II	複合建屋	B1F
	敦賀(1号)	1966/4/22	35.7	BWR2	MARK-I	単独建屋	1F(T/B)
東北電力	女川原子力(1号)	1970/12/10	52.4	BWR4	MARK-I	単独建屋	B2F(C/B)
	(2号)	1989/2/28	82.5	BWR5	MARK-I改	複合建屋	1F
	(3号)	1996/4/12	82.5	BWR5	MARK-I改	複合建屋	1F
	東通原子力(1号)	1998/8/31	110.0	BWR5	MARK-I改	複合建屋	B1F
東京電力	福島第一原子力(1号)	1966/12/1	46.0	BWR3	MARK-I	単独建屋	B1F(T/B,DG/B)
	(2号)	1968/3/29	78.4	BWR4	MARK-I	単独建屋	B1F(T/B) 1F(運用補助共用施設)*
	(3号)	1970/1/23	78.4	BWR4	MARK-I	単独建屋	B1F(T/B)
	(4号)	1972/1/13	78.4	BWR4	MARK-I	単独建屋	B1F(T/B) 1F(運用補助共用施設)*
	(5号)	1971/9/23	78.4	BWR4	MARK-I	単独建屋	B1F(T/B)
	(6号)	1972/12/12	110.0	BWR5	MARK-II	複合建屋	B1F,1F(DG/B)*
	福島第二原子力(1号)	1974/4/30	110.0	BWR5	MARK-II	複合建屋	B2F
	(2号)	1978/6/26	110.0	BWR5	MARK-II改	複合建屋	B2F
	(3号)	1980/8/4	110.0	BWR5	MARK-II改	複合建屋	B2F
	(4号)	1980/8/4	110.0	BWR5	MARK-II改	複合建屋	B2F
	柏崎刈羽原子力(1号)	1977/9/1	110.0	BWR5	MARK-II	複合建屋	B1F
	(2号)	1983/5/6	110.0	BWR5	MARK-II改	複合建屋	B1F
	(3号)	1987/4/9	110.0	BWR5	MARK-II改	複合建屋	B1F
	(4号)	1987/4/9	110.0	BWR5	MARK-II改	複合建屋	B1F
	(5号)	1983/5/6	110.0	BWR5	MARK-II改	複合建屋	1F
	(6号)	1991/5/15	135.6	ABWR	RCCV	複合建屋	1F
	(7号)	1991/5/15	135.6	ABWR	RCCV	複合建屋	1F
東通原子力(1号)	2010/12/24	138.5	ABWR	RCCV	複合建屋	1F	
中部電力	浜岡原子力(1号)	1970/12/10	54.0	BWR4	MARK-I	複合建屋	1F
	(2号)	1973/6/9	84.0	BWR4	MARK-I	複合建屋	1F
	(3号)	1981/11/16	110.0	BWR5	MARK-I改	複合建屋	1F
	(4号)	1988/8/10	113.7	BWR5	MARK-I改	複合建屋	1F
	(5号)	1998/12/25	138.0	ABWR	RCCV	複合建屋	1F
北陸電力	志賀原子力(1号)	1988/8/22	54.0	BWR5	MARK-I改	複合建屋	B1F
	(2号)	1999/4/14	135.8	ABWR	RCCV	複合建屋	1F
中国電力	島根原子力(1号)	1969/11/13	46.0	BWR4	MARK-I	単独建屋	B1F(T/B)
	(2号)	1983/9/22	82.0	BWR5	MARK-I改	複合建屋	B2F
	(3号)	2005/4/26	137.3	ABWR	RCCV	複合建屋	1F
電源開発	大間原子力	2008/4/23	138.3	ABWR	RCCV	複合建屋	1F

* : 運開後に増設