

論文 / 著書情報  
Article / Book Information

題目(和文)	生産等施設の防御設計に関する実践的研究
Title(English)	Practical Assessment of Design Methods for Risk Management in Manufacturing and Other Facilities
著者(和文)	桐原英秋
Author(English)	Hideaki Kirihara
出典(和文)	学位:博士(工学), 学位授与機関:東京工業大学, 報告番号:乙第4134号, 授与年月日:2016年9月30日, 学位の種類:論文博士, 審査員:安田 幸一,宮本 文人,竹内 徹,奥山 信一,堀田 久人,村田 涼
Citation(English)	Degree:., Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:乙第4134号, Conferred date:2016/9/30, Degree Type:Thesis doctor, Examiner:,,,,,
学位種別(和文)	博士論文
Type(English)	Doctoral Thesis

生産等施設の防御設計に関する実践的研究

Practical Assessment of Design Methods for Risk Management  
in Manufacturing and Other Facilities

2016 年

桐原英秋  
Hideaki KIRIHARA



# 生産等施設の防御設計に関する実践的研究

第1章 序論		
1-1 研究の背景と目的	.....	2
1-2 既往の研究	.....	3
1-3 研究の概要	.....	5
1-4 研究の方法	.....	9
第2章 生産等施設の防御設計		
2-1 設計要件と防御設計	.....	13
2-2 多重防御設計	.....	18
2-3 建築設計者の役割とプロジェクトチーム編成の変化	.....	19
2-4 将来へ向けた自由度の高い建築計画の必要性	.....	30
第3章 防御設計手法の開発研究と実践例		
3-1 開発研究対象	.....	33
3-2 振動伝播遮断のための防御設計手法と実践例 (その1)	.....	36
3-3 放射性物質に対する多重防御設計手法と実践例 (その2)	.....	46
3-4 威圧的な施設イメージ解消のための外観設計手法と実践例 (その3)	.....	51
第4章 将来へ向けて自由度の高い建築計画手法と実践例		
4-1 大規模な生産施設の増築を考慮した建築計画手法と実践例 (その4)	.....	56
4-2 極めて自由度の高い建築計画手法と実践例 (その5)	.....	79
第5章 ジェネリック医薬品製造工場のクラスター型工程配列		
5-1 ジェネリック医薬品製造工場の設計要件	.....	90
5-2 クラスター型工程配列工場	.....	91
5-3 実践例 (その6)	.....	105
第6章 多重防御設計のための設計デバイスの開発研究		
6-1 クリーンルームの二重防御機能を付与するペリメータ壁の 開発研究	.....	109
6-2 実践例 (その7)	.....	132
第7章 結論	.....	139
参考文献	.....	143
謝辞	.....	146
資料編	.....	147

## 第1章 序論

### 1-1 研究の背景と目的

生産等施設的设计要件は近年ますます多様化し、厳格さを増している。さらに放射線、振動、クリーン度、電磁波、電波、音響等の単一要件の防御要求から、これらを組み合わせた多重防御、あるいはクロス・コンタミネーション(交差汚染、以降クロスコンタミと呼ぶ)といった複合的な要求まで多岐にわたる。また生産等施設の防御すべき設計要件は、かつて公害防止を中心とした環境への負の影響を抑えるためのものであったが、すでに公害の問題は影をひそめ、いまや温室効果ガス、二酸化炭素削減等といった地球環境規模の問題となっている。一方、企業の生産活動では生産品の品質確保、生産性向上、原価削減等のための設計要件が重要視されて、より高品質の生産環境、安定した生産雰囲気求められている。また、科学技術や先端技術研究開発施設は規模、厳密さ、緻密さ等においてこれまでにない領域へ設計要件を拡張している。

生産等施設の特性から、この設計要件が施設から敷地周辺へ、つまり内から外へのものなのか、逆に外から内へのものなのかで防御すべきベクトルも異なる。これらの防御設計の中には、研究開発や生産のためのシステムや装置側で解決し得るもの、建築設計側で解決できるもの、あるいは両者が重畳されてはじめて解決できるものがある。どのように防御設計を構築するかはプロジェクトごとに設計要件をいろいろな角度から分析し、最適な解決法を見出すことが大切である。このように設計要件が多岐にわたり、かつ多様化する情勢にあって、設計要件が満たされない場合に、周辺環境、あるいは社会構造への影響が甚大で、さらに二次的な負の影響にまで及ぶ設計要件にあっては、多重防御の守りが必須である。

一方、最近マスコミで頻繁に取り上げられる事象として、企業の設備投資におけるリスクマネジメントが不適切であったために、二重投資となったり、設備投資の好機を逸したりといった問題が発生している。また過剰な設備投資のために財務破綻を生じるケースもある。このような企業の設備投資計画上の守りと攻めは市場の読み、研究開発の進捗状況、財務上の内部留保等から設備投資のタイミングをどう読むかであり、ある意味では不透明な見通しの中にどれだけ柔軟な設備投資計画を立てられるかにかかっている。一方では予備的設備投資はしたくない、必要十分な投資額で一貫性のある設備投資計画としたい等施主の要望はいろいろである。このように将来の短期的な市場要求に対して柔軟な即応性のある建築計画とすることも1つの生産等施設的设计要件として理解しなければならない。

そうした状況への設計指針として防御設計に関する新たな知見を得ることの重要性、およびその分析に際して、1970年代以降に建設された先端技術研究開発施設20例および先端

技術生産施設 37 例の合計 57 例を研究対象とすることの妥当性を述べるとともに、生産等施設の今日的な設計要件における防御設計手法および将来の増築計画における自由度の高い建築・配置計画手法の構築が本研究の目的である。

## 1-2 既往の研究

防御、防護、遮断あるいは制御等を伴う設計要件に対する建築設計研究は、戦時中の空襲に対する防護室の安全度に関する実験的、理論的研究<sup>1)、2)、3)</sup>に遡る。以降 20 年ほどこの種の研究論文は見られない。1960 年代になってから、放射線照射室の出入り口における建築計画法に関連して放射線防護のための迷路計画法に関する一連の研究<sup>4)、5)、6)</sup>がある。遮蔽扉構成法と並ぶ迷路構成法に関するものである。あくまで照射室出入り口の建築計画法に関する 1 つの設計手法である。また、人体の天空紫外線放射防護の一連の研究<sup>7)、8)、9)、10)</sup>があり、屋根、軒、庇、床、壁等の建築材料の選定、評価及び設計手法等防御設計に関

### [参考文献]

- 1) 加藤 徳太郎：空襲防護室の窓及出入り口の構造に就て、建築學會論文集、pp300-309、1938
- 2) 大枝 千秋：防護室の爆撃に対する安全度に関する理論的研究、建築學會論文集、pp421-429、1939. 4. 30
- 3) 濱田 実：既存高層建築に於ける防護室の位置に関する研究、建築學會論文集、pp124-133、1940. 3. 25
- 4) 佐久田 昌昭：放射線防護のための迷路計画法（その 1）、日本建築学会論文報告集、pp28-33、1962. 12. 30
- 5) 佐久田 昌昭：放射線防護のための迷路計画法（その 2）、日本建築学会論文報告集、pp22-26、1963. 8. 30
- 6) 佐久田 昌昭：放射線防護のための迷路計画法（計画、昭和 38 年度（仙台）大会学術講演要旨集）、日本建築学会論文報告集、pp350、1963. 9
- 7) 川西 利昌、末田 優子：建築材料と海砂の紅斑作用紫外線放射透過率・反射率及び紫外線防御指標 UPF に関する研究、日本建築学会環境系論文集、p397、2010. 4
- 8) 川西 利昌、大塚 文和：低緯度地域の快晴的天空紅斑紫外放射輝度分布と日除けの建築的太陽防御指数 ASPF、日本建築学会環境系論文集、p201、2014. 2
- 9) 川西 利昌、大塚 文和：紅斑紫外放射輝度分布を用いた紫外線日除けチャート作成と海浜に除けの建築的太陽防御指数 ASPF、日本建築学会環境系論文集、p563、2014. 6
- 10) 川西 利昌、大塚 文和：夏期曇天時の天空紅斑紫外放射輝度分布とパラソルの建築的太陽防御指数、日本建築学会環境系論文集、p821、2014. 9

するものである。研究当初は防御すべき新しい設計要件であったが今日的には防御設計が成熟しているものである。

1960年代に先端技術研究開発の成果として半導体が登場し、そのチップ生産に関連してクリーン度確保及び微振動制御等の厳しい設計要件が建築設計に求められた。わが国でもクリーンルームの汚染防止や性能評価、品質管理等に関する研究<sup>11)</sup>、<sup>12)</sup>、<sup>13)</sup>や微振動

[参考文献]

- 11) 鈴木 良延、藤井 修一：乱流型クリーンルームの空気清浄化性能評価方法の検討：統計的手法による要因の抽出およびクリーンルームの品質管理、日本建築学会計画系論文報告集、pp39-49、1991. 3. 30
- 12) 鍵 直樹、藤井 修二、湯浅 和博、並木 則和：クリーンルームの汚染防止からみた有機系ガスの実測、日本建築学会計画系論文集、pp59-63、1997. 6. 30
- 13) 田村 一、藤井 修二、湯浅 和博、田中 克昌：二重管式チャンバーによるクリーンルーム構成材から発生する揮発性有機化合物の評価手法、日本建築学会計画系論文集、pp55-59、1999. 6. 30
- 14) 松下 仁士、吉岡 宏和、高橋 良典：最適化アルゴリズムを用いた多自由度振動制御系の設計手法に関する研究、日本建築学会構造系論文集、p11、2012. 1
- 15) 松下 仁士、吉岡 宏和、高橋 良典：膜型圧電セラミックを用いた縮小梁架構の鉛直微振動制御に関する研究 新機能性材料を用いた自己適応制御建築に関する研究（その1）、日本建築学会構造系論文集、p281、2013. 2
- 16) 松下 仁士、吉岡 宏和、高橋 良典：膜型圧電セラミックを用いた縮小梁架構の鉛直・水平微振動制御に関する研究 新機能性材料を用いた自己適応制御建築に関する研究（その2）、日本建築学会構造系論文集、p1725、2013. 10
- 17) 松下 仁士、松永 裕樹、吉岡 宏和、高橋 良典：膜型圧電セラミックを用いた鉄骨造の鉛直床振動制御実験 新機能性材料を用いた自己適応制御建築に関する研究（その3）、日本建築学会構造系論文集、p575、2014. 5
- 18) 安藤 信好、新田 文夫、加藤 夕紀子：小規模建築物の交通振動制御の一手法、日本建築学会計画系論文集、pp29-36、2000. 11. 30
- 19) 田中 ゆかり、増田 潔：初期構造計画のための床スラブ内平均重量床衝撃音遮断性能の簡易予測法、日本建築学会環境系論文集、pp149、2014. 2
- 20) 井上 勝夫、木村 翔、土屋 順二、前原 暁洋：木質系建築物における床および壁構造の床衝撃音遮断性能の向上に関する実験的研究、日本建築学会計画系論文、p23-30、1995. 1. 30
- 21) 渡辺 秀夫、木村 翔、井上 勝夫、石井 健太郎：住宅の床仕上げ構造の振動応答特性と床衝撃遮断性能との関係、日本建築学会計画系論文、p31-38、1998. 9. 30

制御に関連して AMD を用いた多自由度振動制御に関する研究<sup>14)</sup>、膜型電圧セラミックを用いた微振動制御に関する研究<sup>15)</sup>、<sup>16)</sup>、<sup>17)</sup>、固体伝播のアクティブ制御に関する研究等研究開発が活発になった。また、交通振動による小規模建築物に対する振動伝播の制御<sup>18)</sup>、歩行による床振動及び衝撃音の遮断等設計手法の研究<sup>19)</sup>、<sup>20)</sup>、<sup>21)</sup>がある。クリーン度確保、微振動制御、振動伝播防御に関する防御設計としてすでに成果を得ている設計要件である。

一方、建築設備システムの設計手法に関する研究<sup>22)</sup>がある。エネルギー有効利用とともに建築設備設計上考慮すべき各種要素の影響度を評価し、設計品質を高めることを目的とするものである。あくまで多様化する建築設備設計要件に関する設計手法であり、生産等施設設計全般にわたる設計手法ではない。

このように生産等施設の今日的な新しい設計要件に対する防御設計に関する実践的研究はこれまで見られない。

### 1-3 研究の概要

各章立てを図 1-1 に示す。

「第 2 章 生産等施設の防御設計」では生産等施設における防御設計へ向けた設計要件を総合的網羅的に取り上げて、社会的要求と技術革新的な視点からその多様化と変化について考察する。さらに「内から外へ」当該装置から施設周辺環境への影響を防御する設計要件と、「外から内へ」つまり施設周辺環境から当該装置への影響を防御する設計要件とに分類し、そこからこれまでにない今日的な設計要件を抽出する。

さらに、防御障壁を喪失した場合に施設周辺公衆へ甚大な負の影響が発生するおそれのある設計要件について多重防御の重要性を述べる。このように多様化し、厳格さを増している今日的設計要件に対する防御設計を考えるためには先端技術の研究開発者や生産エンジニアと建築設計者との協調が必須であり、プロジェクトチーム編成のあり方にも変化が表れている。その具体的な事例をもとに分析する。

#### [参考文献]

- 22) 藤井 修二、湯浅 和博、金 龍植、中村 一樹：パラメータ設計手法を用いた建築設備設計条件の検討、日本建築学会計画系論文集、pp57-63、1994. 3. 30



また今日的な設計要件として将来に向けた極めて自由度の高い、短期的な要求に即応性のある建築計画立案の必要性を述べる。図1-2、図1-3は防御設計概念図及び将来へ向けた自由度の高い建築計画の必要性と開発研究概念図である。図中に第3章以降の章立てとの対応関係を示す。

「第3章 防御設計手法の開発研究と実践例」では防御設計要素概念図をもとに防御設計手法を研究する。今日的な新しい設計要件として振動伝播遮断、放射線遮蔽等のほか、敷地周辺公衆からの施設イメージ改善等を含む防御設計がある。実践例としてビッグサイエンスと呼ばれる厳格な設計要件の遵守が要求される国家規模の研究開発プロジェクトを中心に防御設計手法の研究成果を述べる。

「第4章 将来へ向けて自由度の高い建築計画手法と実践例」では企業の設備投資リスクマネジメントのために将来へ向けた短期的な市場要求に応え得る「攻めと守り」の設計手法としての増築計画における自由度の高い建築・配置計画手法の構築について述べる。第3章は物理的かつ即時的な建築計画としての防御設計に関する研究であるのに対して、第4章は建築計画概念的かつ時間軸をもつ将来計画としての防御設計の研究である。大規模な生産施設の増築を考慮した建築設計手法を網羅的に分析し、将来の増築計画を立案する上で有効な計画手法を取りまとめる。一方では将来計画では不確定な要素が少なくなく、不適切な設備投資は企業の命運をも左右しかねない。そこで将来に向けて極めて柔軟性の高い生産施設配置計画として連棟形式による工場建屋配置計画を開発研究する。さらに企業グループ専用工業団地計画を提案し実践した研究成果を述べる。同様な視点からジェネリック医薬品製造工場におけるクラスター型工程配列を開発研究した。別途第5章で詳述する。

「第5章 ジェネリック医薬品製造工場のクラスター型工程配列」では多品種少量生産が要求されるジェネリック医薬品製造工場を対象として、「第3章 防御設計手法の開発研究と実践例」の防御設計としてクリーン度確保のためにクロスコンタミを多重に防御する工程配列であり、かつ「第4章 将来へ向けて自由度の高い建築計画手法と実践例」の将来へ向けて極めて自由度が高く、生産品目の入れ替えが容易な工程配列であるクラスター型工程配列による工場設計概念を開発研究した。またその実践した事例を述べる。

「第6章 多重防御設計のための設計デバイスの開発研究」では生産等施設におけるクリーン度確保のための多重防御を、より合理的に構築するための設計デバイスとして「クリーンルームの二重防御機能を付与するペリメータ壁」の研究成果と実践例を述べる。

「第7章 結論」では、第1章から第6章までの各章で得られた知見を総括することで本研究の結論を述べる。

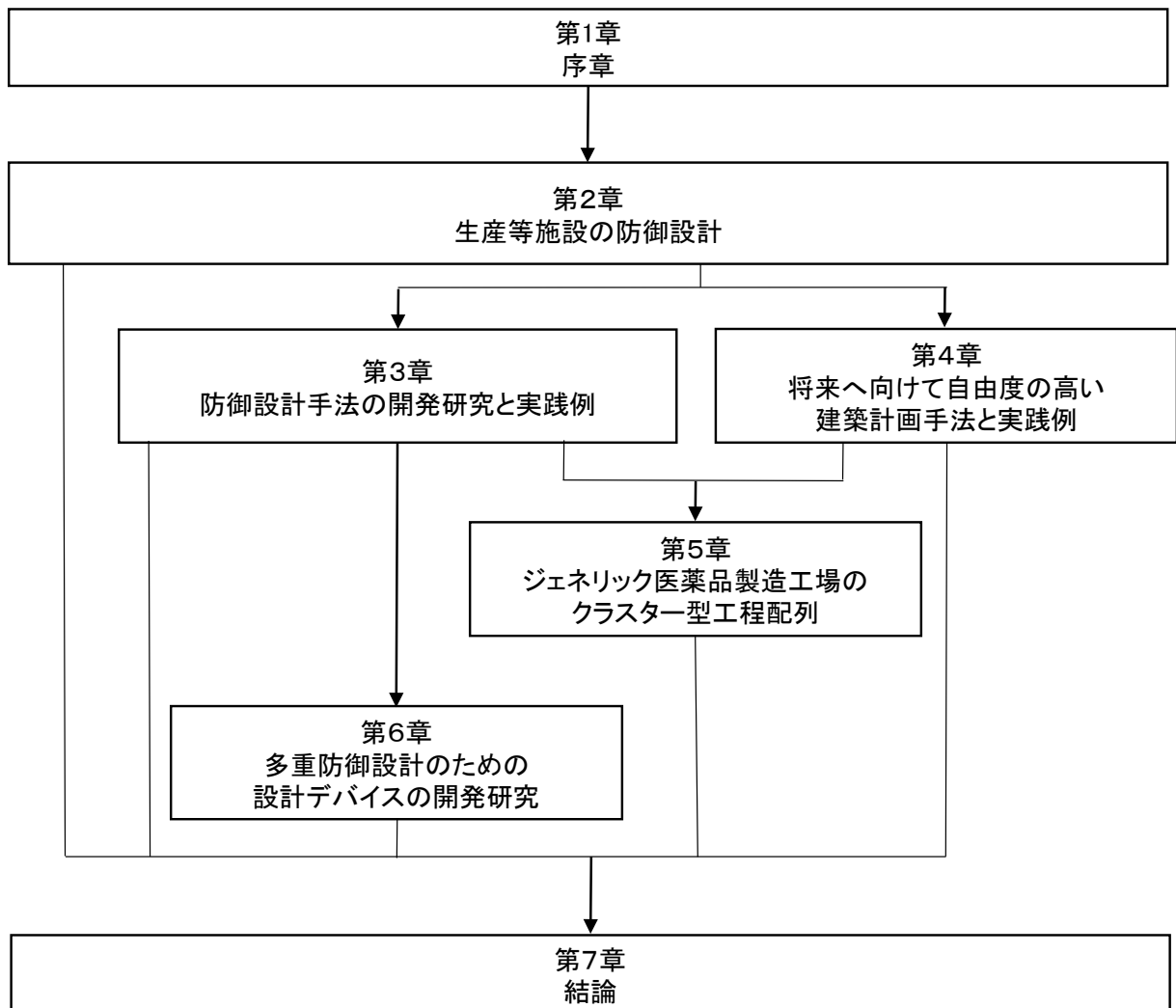


図 1 - 1 本論文章立て図

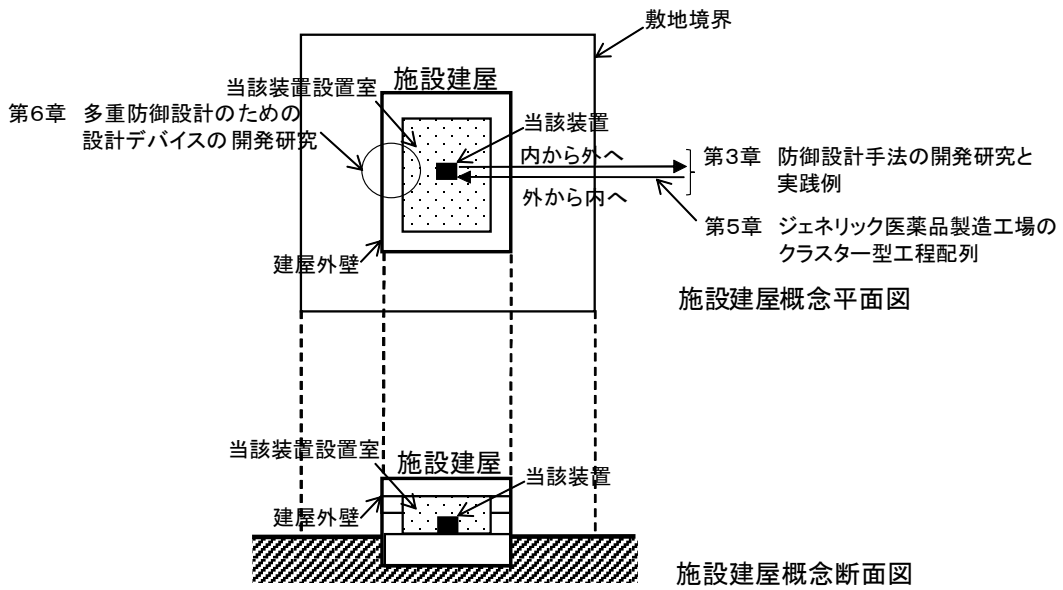


図1-2 防御設計概念図

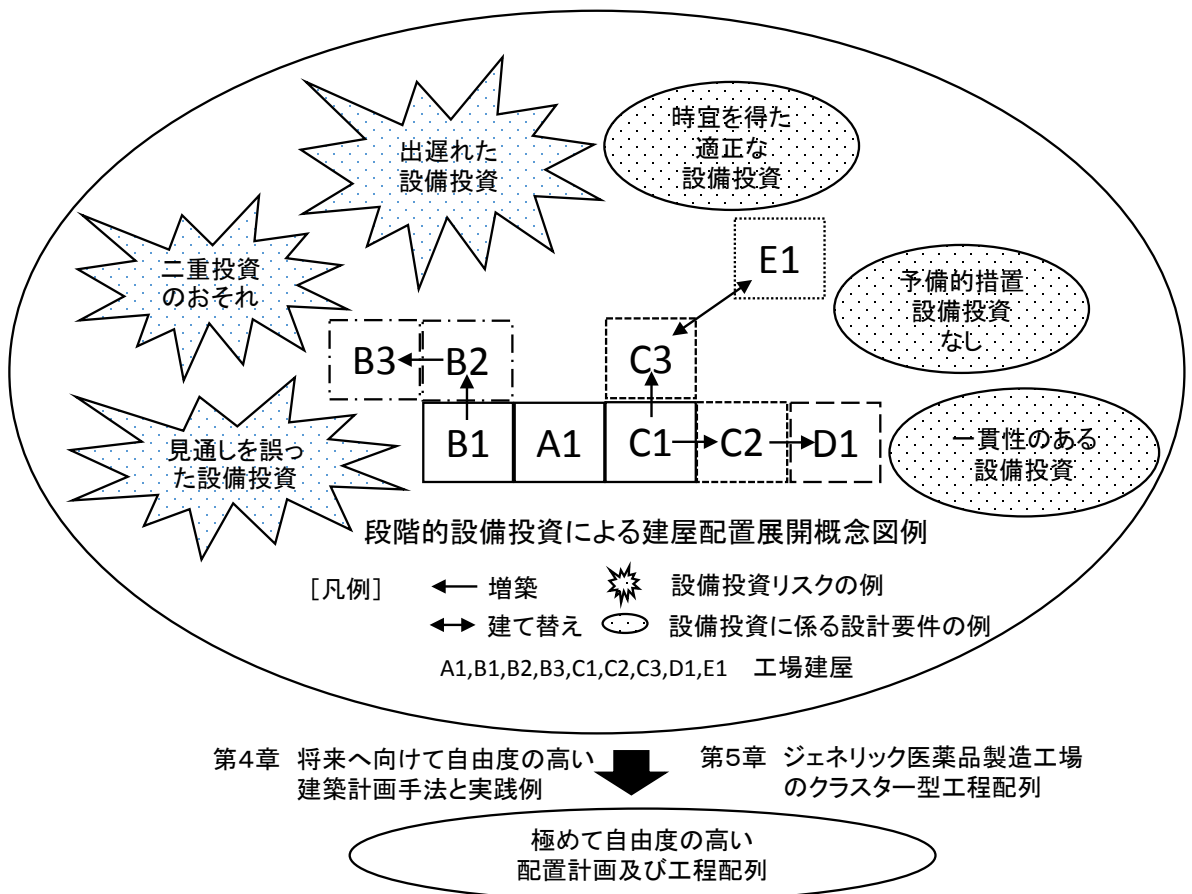


図1-3 将来へ向けて自由度の高い建築計画の必要性と開発研究概念図

#### 1-4 研究の方法

表 1-1、表 1-2 に示す 1970 年代以降に設計された先端技術研究開発施設 20 件と先端技術生産施設 37 件の計 57 件（○印：筆者主設計担当）を研究対象とした。

研究の方法は表 1-1、表 1-2 の事例をもとに防御に関連する設計要件を分析して今日的な要求として新たに発生している設計要件を取り上げ、その基本的な防御設計方針を分析して、実践例に基づく防御設計手法を開発研究する。またこれらの事例をもとに建屋配置及び工場計画を中心に総括的な類型化を行い、設備投資リスクマネジメントにおける守りと攻めである将来へ向けて自由度の高い建築設計手法を開発研究する。ともに筆者により実践された事例により積み上げられた防御設計手法に関する研究である。

表 1-1 研究対象としての先端技術研究開発施設（特記なき限り 設計：日建設計）

No.	事業主／所有者	施設名称	所在地	延床面積 (m <sup>2</sup> )	竣工年月
1	環境科学技術研究所	閉鎖系陸・水圏実験棟○	青森県上北郡	990	1998年3月
2	東京大学	スーパーカミオカンデ	岐阜県飛騨市	3,000	1996年3月
3	日本原子力研究開発機構※1	リサイクル機器試験施設○	茨城県那珂郡	22,053	工事中断中
4	日本原子力研究開発機構※1	再処理施設ユーティリティ施設○	茨城県那珂郡	5,800	2004年3月
5	日本原子力研究開発機構※1	常陽第二プール○	茨城県東茨城郡	2,221	1991年9月
6	日本原子力研究開発機構※1	高放射性固体廃棄物第2貯蔵施設○	茨城県那珂郡	7,605	1989年4月
7	防災科学技術研究所	実大三次元震動破壊実験施設○	兵庫県三木市	16,642	2004年3月
8	理化学研究所	ライフサイエンス技術基盤研究センター	神奈川県横浜市	17,171	2000年8月
9	理化学研究所	長尺ビーム実験施設○	兵庫県佐用郡	1,102	2000年3月
10	理化学研究所	構造生物学研究棟○	兵庫県佐用郡	4,678	1997年6月
11	理化学研究所	大型放射光蓄積リング棟	兵庫県佐用郡	70,817	1996年12月
12	量子科学技術研究開発機構※2	低線量影響実験棟	千葉県千葉市	4,088	2003年12月
13	量子科学技術研究開発機構※3	関西光科学研究所○	京都府相楽郡	12,580	1999年5月
14	アサヒビール	研究開発センター○	茨城県北相馬郡	18,598	1997年9月
15	エム・イー・エム・シー	宇都宮工場研究開発棟○	栃木県宇都宮市	12,513	1998年5月
16	栗本鐵工所	音響実験棟○	埼玉県児玉郡	594	1995年1月
17	原子燃料工業※4	住友電工原燃工熊取第2加工棟	大阪府泉南郡	6471	1983年9月
18	大和製罐	技術開発センター○	神奈川県相模原市	5121	1995年6月
19	富士ゼロックス	電波暗室○	神奈川県海老名市	1138	1994年6月
20	ポーラ化成工業	中央研究所○	神奈川県横浜市	10,383	1992年2月

[凡例] ○印 筆者主設計担当

※1 旧) 動力炉・核燃料開発事業団

※2 旧) 放射線医学研究所

※3 旧) 日本原子力研究所

設計は旧) 日本原子力研究所建設部関西研究所施設建設室と日建設計との共同による。

※4 旧) 住友電気工業

表 1-2 研究対象とした先端技術生産施設（特記なき限り 設計：日建設計）

No.	事業主／所有者	施設名称	所在地	延床面積 (m <sup>2</sup> )	竣工年月
1	アイシン精機※1	佛山工場○	中国広東省佛山市	14,600	2005年9月
2	アサヒ飲料	北陸工場○	富山県下新川郡	9,995	1994年11月
3	アサヒ飲料	明石工場	兵庫県明石市	29,806	1989年11月
4	アサヒビール	神奈川工場○	神奈川県南足柄市	69,377	2002年5月
5	アサヒビール	北海道工場○	北海道札幌市	12,980	2001年6月
6	アサヒビール	博多工場○	福岡県福岡市	18,991	1999年11月
7	アサヒビール	四国工場○	愛媛県西条市	35,212	1997年12月
8	アサヒビール	福島工場○	福島県安達郡	21,293	1990年7月
9	HGST (Thailand) ※2	IP304 ハード・ディスク・ドライブ工場○	タイ プラチンブリ	26,783	1997年10月
10	川澄化学工業	佐伯 BB 新工場○	大分県佐伯市	7,049	2006年2月
11	資生堂	掛川工場	静岡県掛川市	18,458	1975年12月
12	シミック CMO※3	富山工場	富山県射水市	5,450	1985年10月
13	信越半導体	白河工場	福島県西白河郡	26,076	1985年4月
14	大日商事	米沢成形工場○	山形県米沢市	3,666	1996年12月
15	大日本印刷	FDP事業部 大利根工場○	埼玉県北埼玉郡 大利根町	7,381	1994年9月
16	大日本印刷	ミクロ製品事業部 三原工場○	広島県三原市	39,978	1993年7月
17	大和製罐	大井川工場○	静岡県志太郡	12,251	1996年3月
18	大和製罐	真岡工場○	栃木県真岡市	33,658	1984年12月
19	中央精機※1	南沙工場○	中国広東省広州市	22,300	2005年9月
20	トヨタ紡織※1	南沙工場○	中国広東省広州市	50,000	2005年9月
21	テルモ	富士宮工場西4号棟○	静岡県富士宮市	7,151	2010年9月
22	日清紡績	館林工場	群馬県邑楽郡	11,455	1989年8月
23	日東電工	尾道事業所	広島県尾道市	13,827	1995年9月
24	ニプロファーマ※4	鏡石工場○	福島県岩瀬郡	13,306	2001年2月
25	日本アイ・ピー・エム	野洲工場	滋賀県野洲郡	12,738	1975年10月
26	日本電気	大月工場	山梨県大月市	23,523	1986年4月
27	日本薬品工業※5	つくば工場3号棟○	茨城県筑西市	8,100	2014年4月
28	日本薬品工業	茨城工場包装棟○	茨城県稲敷市	2,874	2008年9月

表 1-2 研究対象とした先端技術生産施設（特記なき限り 設計：日建設計）（つづき）

No.	事業主／所有者	施設名称	所在地	延床面積 (m <sup>2</sup> )	竣工年月
29	ハウス食品	静岡工場	静岡県袋井市	26,615	1982年11月
30	ノボ ノルディスク ファーマ	郡山工場	福島県郡山市	10,466	1997年6月
31	パナソニック※6	ブラジル エストレーマ工場○	ブラジル ミナスジェライス州	46,794	2012年3月
32	パナソニック※7	インドテクノパーク○	インド・ハリアナ州	49,809	2012年3月
33	弘前航空電子	本社工場○	青森県弘前市	4,158	1988年11月
34	富士ゼロックス	海老名工場○	神奈川県海老名市	34,189	1990年6月
35	ポーラ化粧品	袋井工場	静岡県袋井市	47,170	1976年12月
36	明治※8	関西工場○	大阪府貝塚市	25,075	2005年7月
37	ルノー・日産自動車 ※9	ブラジル ヘゼンジ工場○	ブラジル リオデジャネイロ州	200,000	2014年3月

〔凡例〕 ○印 筆者主設計担当

※1 基本設計：日建設計

実施設計：広州市設計院（中国）

※2 旧）タイ IBM

※3 旧）エスエス製薬

※4 旧）中外製薬

※5 基本計画：日建設計コンストラクション・マネジメント

実施設計：大成建設

※6 基本計画：日建設計コンストラクション・マネジメント

実施設計：W Torre（ブラジル）

※7 基本計画：日建設計コンストラクション・マネジメント

実施設計：三井住友建設

※8 旧）明治乳業

※9 基本計画：日建設計コンストラクション・マネジメント

実施設計：HOSS（ブラジル）

## 第2章 生産等施設の防御設計

本章では生産等施設における防御設計へ向けた設計要件を総合的網羅的に取り上げて、社会的要求と技術革新的な視点からその多様化と変化について考察する。さらに「内から外へ」当該装置から施設周辺環境への影響を防御する設計要件と、「外から内へ」つまり施設周辺環境から当該装置への影響を防御する設計要件に分類し、そこからこれまでにない今日的な設計要件を抽出する。

さらに、防御障壁を喪失した場合に施設周辺公衆へ甚大な負の影響が発生するおそれのある設計要件について多重防御の重要性を述べる。このように多様化し、厳格さを増している今日的設計要件に対する防御設計を考えるためには先端技術の研究開発者や生産エンジニアと建築設計者との協調が必須であり、プロジェクトチーム編成のあり方にも変化が表れている。その具体的な事例をもとに分析する。

また今日的な設計要件として将来に向けた極めて自由度の高い、短期的な要求に即応性のある建築計画立案の必要性を述べる。

### 2-1 設計要件と防御設計

生産等施設における防御に係る設計要件は1960年代から1970年代では工場公害を防止する観点から整理されている<sup>2,3)</sup>。工場公害では大別して騒音、振動、排気（煤煙、粉塵を含めて）・廃液の4種類が大部分を占めていた。前二者は作業者自身に及ぼすものを対象としており、局所的に解決できる問題でもあった。一方、後二者は大きな社会的政治的問題に絡むことから企業が適切に除害設備を設置する必要がある。問題が顕在化するにつれて行政と企業の積極的な取り組みがなされて一定の成果のもと、わが国では今日的な問題とはなっていないと言ってもよい。このほか、光、電氣的、磁氣的障害、放射能等は例として比較的少ない特殊な場合として扱われており、設計要件及び防御設計手法を整理するまでには至っていない。

一方、研究所の設計ではインダストリアル・クリーン、バイオ・クリーン、バイオ・ハザード対策室、恒温・恒湿・低温室、放射線利用施設、動物飼育室・洗浄室、電磁シールドルーム等のファンクションユニットのほか電子顕微鏡、NMR、ドラフトチャンバー等の機器ユニットの防御設計が求められている<sup>2,4)</sup>。

以上のように今日的なものとして生産等施設に関連して防御すべき設計要件は下記の通りまとめることができる。ここでいう「当該装置」とは生産等施設のための装置自体を



指し、「周辺環境」とはその当該装置廻りの設置空間から建屋内、建屋外、敷地外を含む広範囲の周辺空間を指す。「内」とは装置自体を、「外」とは広範囲の周辺空間を意味する。

- (1) 「内から外へ」当該装置から周辺環境へ与える負の影響を防御するための設計要件
  - 1) 振動、音響、電波、電磁波、放射線等の遮断・抑制
  - 2) バイオ・ハザード（生物学的危害）
  - 3) 離隔距離としての空間確保
  
- (2) 「外から内へ」周辺環境が当該装置へ与える影響を防御するための設計要件
  - 1) 放射線、塵埃、電波、電磁波、静電気、音響等の遮断・制御
  - 2) バイオ・クリーン
  - 3) 交通振動の制御
  - 4) 地震対策、地盤沈下・隆起・すべり対策
  - 5) 飛来物落下（Aircraft Impact）、物的防護（Physical Protection）
  - 6) 離隔距離としての空間確保

生産等施設において周辺環境から当該装置に与える負の環境に対してますます厳しい設計要件が求められている。生産エリアへ求められる塵埃を除去するレベルとしてのクリーン度はすでにスーパークリーンルームの時代である。クラス・ゼロを要求することもめずらしくなく、半導体集積回路のデザインルールが線幅 0.5 ミクロンから 0.1 ミクロン以下へさらに 10 ナノレベルへと微細化している。このようなインダストリアル・クリーンルームのほかにはバイオ・クリーンルームが必要となる動物実験室では SPF 動物や無菌動物を利用する施設が一般的となり、人への感染のおそれが極めて高いウィルスを対象とする医療医薬関連研究開発及び生産施設では厳しいバイオ・ハザードが求められている。同様に電波、電磁波、ノイズ等の環境を排除するための電波暗室、電磁波暗室、帯電防止仕様室、無響室等厳しい研究開発あるいは生産環境が要求されている。音響ではサイレンサー・デバイス開発上、残響室も必要となっている。

これらの設計要件を満たす防御設計では一定程度の成果を得て、ある程度設計手法が確立されている分野もある。表 2-1 に防御設計の開発研究成果の状況を比較評価する。前章の表 1-1、表 1-2 及び参考文献等から筆者が評価したものである。△印の内、筆者が設計主担当として設計する機会を得た振動（伝播遮断）と放射性物質（遮蔽、封じ込め）の 2 つの設計要件を取り上げる。

さらに今日的要求としてあらたに発生している設計要件がある。表 2-2 に示す 2 つの設計要件である。いずれも敷地周辺公衆の視線に関するもので、一つは視線遮蔽であり、

もう一つは負の外観印象を解消するためのものである。前者は屋外で行う機密性の高いデザイン活動上、敷地外部からの視線を遮断するもので、セキュリティの問題でもある。建設敷地形状及び敷地周辺地域開発の程度により防御設計が異なり、開かれた生産等施設とは整合しないものになりがちである。主として屋外での外観デザイン評価が求められる自動車設計分野で実践例が出始めている。後者は生産等施設の性格上敷地周辺公衆に対して威圧感を与えるため、その負のイメージを払拭する建築設計が求められる場合である。実践例は少ない。△印の2つの設計要件の内、筆者が設計主担当として設計する機会を得た後者の設計要件を取り上げる。

表 2-1 設計要件と防御設計手法の開発研究進捗度

[凡例] 開発研究： ◎かなり進んでいる ○進んでいる △進んでいるとまでは言えない

設計要件と評価, 課題	内から外へ		外から内へ	
	評価	課題	評価	課題
振動	△	機械振動である振動台の規模・能力によっては防御手法が確立されていない。	○	微振動制御は交通振動、歩行振動（生産エリア内を含む）等、エンジニアリング及び建築の両領域で成果を得ている。
音響	○	エンジニアリング及び建築の開発研究が進んでいる。	○	エンジニアリング及び建築の開発研究が進んでいる。
電波	○	エンジニアリング及び建築の開発研究が進んでいる。	○	エンジニアリング及び建築の開発研究が進んでいる。
電磁波	○	エンジニアリング及び建築の開発研究が進んでいる。	○	エンジニアリング及び建築の開発研究が進んでいる。
静電気	○	エンジニアリング及び建築の開発研究が進んでいる。	○	エンジニアリング及び建築の開発研究が進んでいる。
放射性物質	△	内蔵する放射性物質が極めて多い施設の防御設計手法の実践例が少なく、防御設計の開発研究も進んでいるとまでは言えない。	○	エンジニアリング及び建築の開発研究が進んでいる。
インダストリアル・クリーン	—	—	◎	エンジニアリング及び建築の開発設計が進んでいる。
バイオ・ハザード（生物学的危害）	○	エンジニアリング及び建築の開発研究が進んでいる。	—	—
バイオ・クリーン	—	—	○	エンジニアリング及び建築の開発研究が進んでいる。
地震対策	—	—	○	耐震設計ばかりでなく、制震、免震設計手法も実践されて防御設計手法がかなり進んでいる。
交通振動	—	—	○	微振動制御、居住性向上のためのエンジニアリング及び建築の開発研究が進んでいる。
地盤沈下・隆起地すべり対策	—	—	○	エンジニアリング及び建築の開発研究が進んでいる。
離隔距離	◎	多種の防御設計に成果を得ている。	◎	多種の防御設計に成果を得ている。
セキュリティ	—	—	○	エンジニアリング及び建築の開発研究が進んでいる。

表 2-1 設計要件と防御設計手法の開発研究進捗度（つづき）

[凡例] 開発研究： ◎かなり進んでいる ○進んでいる △進んでいるとまでは言えない

設計要件と 評価、課題	内から外へ		外から内へ	
	評価	課題	評価	課題
飛来物落下 (Aircraft Impact)	—	—	△	防御対象とする飛来物の特定が難しく、また防御設計手法が進んでいるとまでは言えない。
物的防護 (Physical Protection)	—	—	△	破壊行為の特定が難しくまた防御設計手法が進んでいるとまでは言えない。テロ対策からの必要性は高い。
津波	—	—	△	防御設計の実践例が積み上がりつつあるが、開発研究が進んでいるとまでは言えない。

表 2-2 防御設計を要する新しい設計要件

[凡例] 開発研究： ◎かなり進んでいる ○進んでいる △進んでいるとまでは言えない

設計要件と 評価、課題	内から外へ		外から内へ	
	評価	課題	評価	課題
敷地周辺からの視線	—	—	△	屋外で行う機密性の高いデザイン活動上、敷地外部からの視線を遮断する必要がある。セキュリティの問題である。建設敷地形状及び敷地周辺地域開発の程度により防御設計が異なる。開かれた生産等施設とは整合しないものになりがちである。自動車設計分野で実践例が出始めている。
敷地周辺から観た印象	△	生産等施設の性格上敷地周辺公衆に対して威圧感を与えるため、その負のイメージを払拭する建築設計が求められる場合である。実践例は少ない。	—	

## 2-2 多重防御設計

多岐にわたるこのような設計要件のうち、多重防御が求められるものは何か。それは一重の防御ではその防御が損なわれた場合に周辺環境へ甚大な負の影響を及ぼすおそれのある事象が想定される設計要件である。下記の想定事象が考えられる。

- (1) 周辺公衆、自然環境へ重大な負の影響を生じるおそれのあるもの。
- (2) 研究開発活動あるいは生産活動へ重大な負の影響を生じるおそれのあるもの。例えば研究開発あるいは生産上あるべき雰囲気仕様が仕様に安定して確保できず、研究成果そのものを無にする、あるいは生産品品質をそのものが担保できない事態である。

具体的に(1)では原子力関連施設の事故による周辺公衆への放射線被ばくがある。また(2)では市場秩序を損なうほどの事故と社会秩序への負の影響として例えば、医薬品、飲料品等への異物混入事故によるリコール、生産停止さらには欠品の問題が、原材料供給工場のトラブルによる原材料供給停止とサプライチェーンの破たん等の問題が発生している。

本論文では多重防御すべき設計要件として放射線遮蔽へ向けた防御設計と生産エリア雰囲気のクリーン度維持とクロスコンタミ防止へ向けた防御設計の2つを取り上げる。

なお、防爆構造のように生産施設の安全管理上建築に求められる防御設計があるが、システムエンジニアリング上の安全設計と密接に関連し、生産等施設の対象とする装置が広範囲でかつ装置個々に対処方法が異なるため、本研究の対象から除いた。

## 2-3 建築設計者の役割とプロジェクトチーム編成の変化

研究開発、技術開発の進展にとともに生産等施設は高度化し、装置も従来のものからダウンサイジング、あるいはアップサイジングしている。これまでは生産施設の建築設計はある意味では生産装置を設置できる箱としての建築設計であった。もっとも重厚長大の象徴と言うべき製鉄所のように古くから生産プロセスと建屋が一体となったプロジェクトもあり（参照：写真2-1、図2-1、写真2-2、図2-2）、先端技術エンジニアリングの理解のもとに建築設計がなされていた。R. ミューサー、L. ヘイルはプロセス産業の工場計画デザインでは建築家より技術者指向となり、技術者的建築家あるいは建築家的技術者の必要性を述べている。（参照：図2-3、文献31）から引用）

このようなプロジェクトと軌を同じく、生産等施設の設計要件が多様化するに伴って先端技術エンジニアリングの理解のもとに、建屋が装置の一部となる建築設計が現れてきた。先端技術エンジニアリングと建築設計との関係が密接になり、エンジニアリングと建築設計とが融合する時代となっている。つまり建築設計者には先端技術エンジニアリングから派生する各種設計要件を十分に理解し建築設計に取り組む姿勢、総合的な視点からの建築設計手法が求められている。さらに多様化する設計要件に対する多重防御が重要視されている中、先端技術エンジニアリングの理解が重要となり、とくに生産装置自体で解決できるものか、建築設計が解決すべきものかにより建築設計要件が変わってくる。つまり、生産等施設では先端技術エンジニアリングを主導するエンジニアが一方向的に建築設計者に設計すべき設計要件を提示するものではなく、相互に協調して総合的に設計要件を満足するようにそれぞれの設計手法をコラレラル（双方向）に補完しながら解決していく姿勢が大事である。多重防御設計の構築では、先端技術を取り巻くエンジニアリングの進歩と建築設計手法、建設技術との協調と歩み寄りが大切である。

このように生産等施設における建築設計者の役割が増大したことからプロジェクト推進体制に変化が生じた。この分野のプロジェクト体制は大きく図2-4のように分類できる。これまではタイプ1のように先端技術エンジニアリングを担当する総合エンジニアリング会社が全体を統括する（元請）立場に立ち、そのもとに建築設計者として設計事務所、あるいはゼネコンの設計部門が入る形が主流であった。この体制では建築設計者と事業主との関係が間接的で、建築設計者が事業主へ直接意見を述べる機会が少なく、建築設計者の考えは総合エンジニアリング会社のフィルターが掛かって事業主へ伝えられることとなるため、結果的に事業主と建築設計者との間で活発に意見交換できる場は望めない。

[参考文献]

- 31) R. ミューサー L. ヘイル著伊藤 汎訳：最新工場計画実践マニュアル、日本能率協会、1982.12

しかしながら前述のように先端技術エンジニアリングと建築設計とが融合してはじめて合理的に設計要件が満たされることが次第に理解されはじめ、プロジェクト体制の見直しの機運が生まれた。旧) 動力炉・核燃料開発事業団 (PNC、現；日本原子力研究開発機構) の事例がこのことを如実に物語っている。

東海事業所再処理施設では分離精製工場 (TRP、1971年着工) がフランスのサンゴバンの基本設計のもとに日本の総合エンジニアリング会社が詳細設計を進め、日本のゼネコンや分野別エンジニアリング会社は総合エンジニアリング会社の下請けとして参画した。(参照：図2-5) 1970年代から1980年代の代表的なプロジェクトとして高レベル放射性物質研究施設 (CPF、1979年着工) と高レベル廃液ガラス固化技術開発施設 (TVF、1988年着工) がある。CPF ではPNCのPM部門のもとに総合エンジニアリング会社とゼネコン関連建築設計コンサルタントがチームを組み、日建設計は建築設計コンサルタント会社のもとで建築設計を担当した。(参照：図2-5) TVF では日本の総合エンジニアリングが元請けとなり、日建設計は建築設計のパートナーであった。(参照：図2-6) とともに、旧) 動力炉・核燃料開発事業団との打ち合わせはそれぞれ総合エンジニアリング会社が当たり日建設計が直接打ち合わせに参加することは皆無で、会議資料を裏方として準備する立場であった。

そのような状況にあって先端技術エンジニアリングをどのように建屋にフィードバックすべきかについて総合エンジニアリング会社による従来の進め方ではもの足りないことが次第に顕在化してきた。その理由として総合エンジニアリング会社が提案する建築計画案より、建築設計者による別案がより合理的なものであることが旧) 動力炉・核燃料開発事業団関係者の間で評価されはじめ、建築設計者による総合的な建築計画検討が理解され始めた機運がある。

そこで前述 TVF では設計途中の基本設計2から日建設計が建築設計者として総合エンジニアリング会社と対等な立場でプロジェクトに参画することになり (参照：図2-6)、大洗事業所の常陽第二プール (1989年着工、参照：図2-7、図2-8) ではエンジニアリングは総合エンジニアリング会社が、建築設計は日建設計が対等の立場で参画し、第一貯蔵プールとは一味違った施設設計となった。また企業グループがコンソーシアムとしてプロジェクトチームを組んで進められた高放射性固体廃棄物貯蔵施設 (HSⅡ)、1985年着工) がある。続く大型プロジェクトである東海事業所リサイクル機器試験施設 (RETF、1995年着工、高速増殖炉もんじゅの使用済核燃料再処理施設) では、エンジニアリングは総合エンジニアリング会社が担当し、建築設計は日建設計が担当して概念設計から詳細設計までの建築設計を主導的に進めた。(参照：図2-9)

このように生産等施設プロジェクトにおいて建築設計者の立場が以前にも増して重要視されてきた背景には、前述のように建築設計者に求められる設計要件が高度化し、多様化する中であって、先端技術エンジニアリングと建築設計のそれぞれの設計要件を別個独立扱うのではなく、相互に補完し複合しあってはじめて満足される設計環境になったことが挙げられる。とくに先端技術生産施設の多重防御設計ではその防御が損傷した場合の負の影響が著しく、まさに多重防御設計を講じる重要性が論じられたのである。

一方、社内独自のエンジニアリング技術の伝承と秘匿性、同業他社との差別化が重要視されてきたこととエンジニアリングの内容が企業ごとに特化してきたことから、エンジニアリングを総合エンジニアリング会社へ丸投げするのではなく、社内エンジニアリング部門と中小規模の分野別のエンジニアリング会社との組み合わせたチーム編成へ切り替える傾向が現れてきた。図2-4のタイプ3あるいはタイプ4のチーム編成である。表1-2のアサヒビール5工場、大日本印刷三原工場・大利根工場、明治関西工場等のプロジェクトチーム編成はタイプ3である。そこで比較的大規模なプロジェクトでは当然コーディネーション役のPMの重要性が高まり、総合的な設計に適している設計事務所のPMがPMチームの一員として参画するタイプ4へと変化している。





写真 2 - 1 新日鉄住金（旧）住友金属工業）鹿島製鉄所 1970 年代（設計：日建設計）  
 [写真提供 新日鉄住金株式会社]

**Location** : Kashima, Ibaraki Pref., Japan  
**Period of Assignment** : 1967-1976  
**Assignment** : Basic and detailed design  
                   Construction supervision  
**Production Capacity** : 11,500,000 tons/year  
**Major Plants** : Raw Material Yard  
                   Blast Furnace Plant  
                   Hot Air Stove Plant  
                   Coke Oven Plant  
                   B.O.F. Plant  
                   Continuous Casting Plant  
                   Lime Calcination Plant  
                   Rolling Mill Plant  
                   Hot Strip Mill Plant  
                   Cold Strip Mill Plant  
                   Large-section Shaped Steel Mill  
                   Large-section Steel Pipe Plant  
                   Stainless Steel Plant



図 2 - 1 新日鉄住金（旧）住友金属工業）鹿島製鉄所 1970 年代（設計：日建設計）  
 [資料提供 新日鉄住金株式会社]



写真 2-2 JFE スチール(株)西日本製鉄所(福山地区) 1970 年代  
(旧) 日本鋼管 福山製鉄所

[写真提供: JFE スチール株式会社]

<b>Location</b>	: Fukuyama City, Japan
<b>Period of Assignment</b>	: 1966-1974
<b>Assignment</b>	: Basic and detailed design
<b>Production Capacity</b>	: 12,000,000 tons/year
<b>Major Plants</b>	: Blast Furnace Plant Hot Air Stove Plant Coke Oven Plant Sintering Plant B.O.F. Plant Continuous Casting Plant Cold Strip Mill Plant

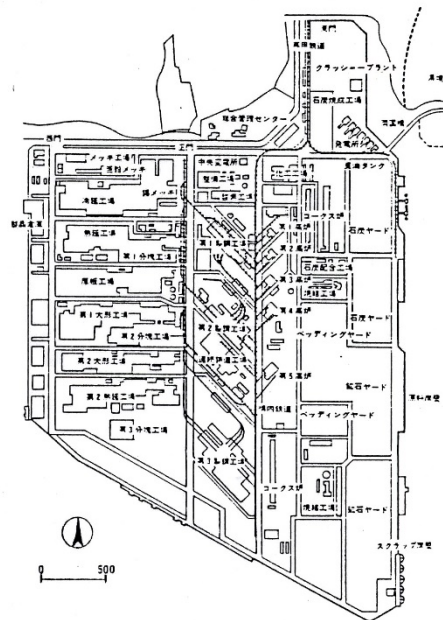
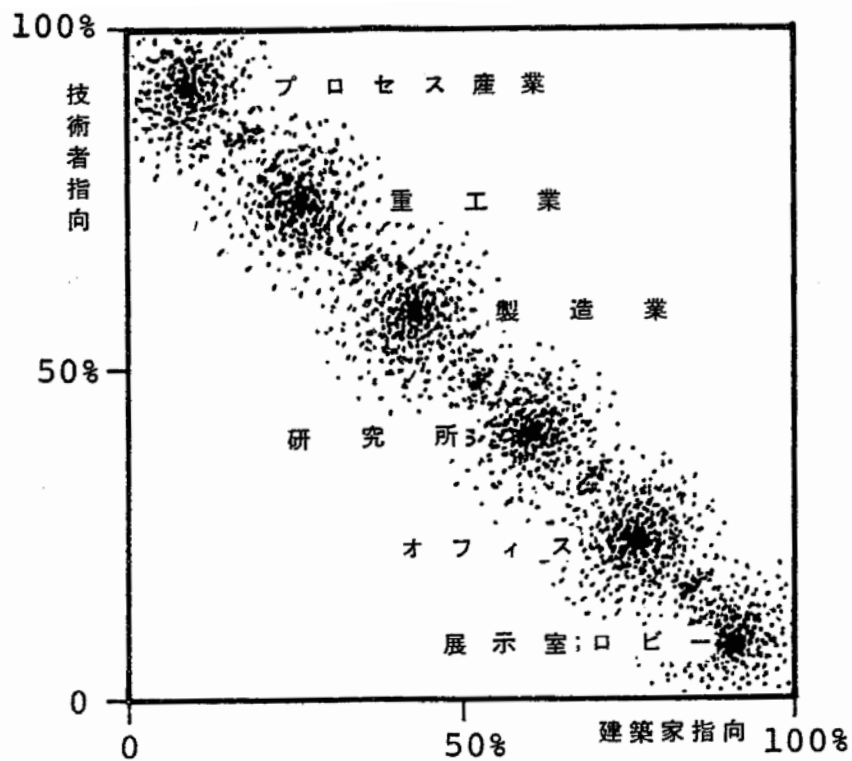


図 2-2 JFE スチール(株)西日本製鉄所(福山地区) 1970 年代  
(旧) 日本鋼管 福山製鉄所

[資料提供: JFE スチール株式会社]



一般的に言えることは、ユティリティ指向で、重構造になればなるほど、技術者指向となる。また、人間指向で、建築美を指向すればするほど、建築家指向となる。

実際、工場計画の計画と設計のほとんどのプロジェクトは、両方の意味をもっているものである。すなわち、技術者の建築家、あるいは建築家的技術者が必要である。

図2-3 工場計画のデザイナー；プランナー [文献31)より引用]

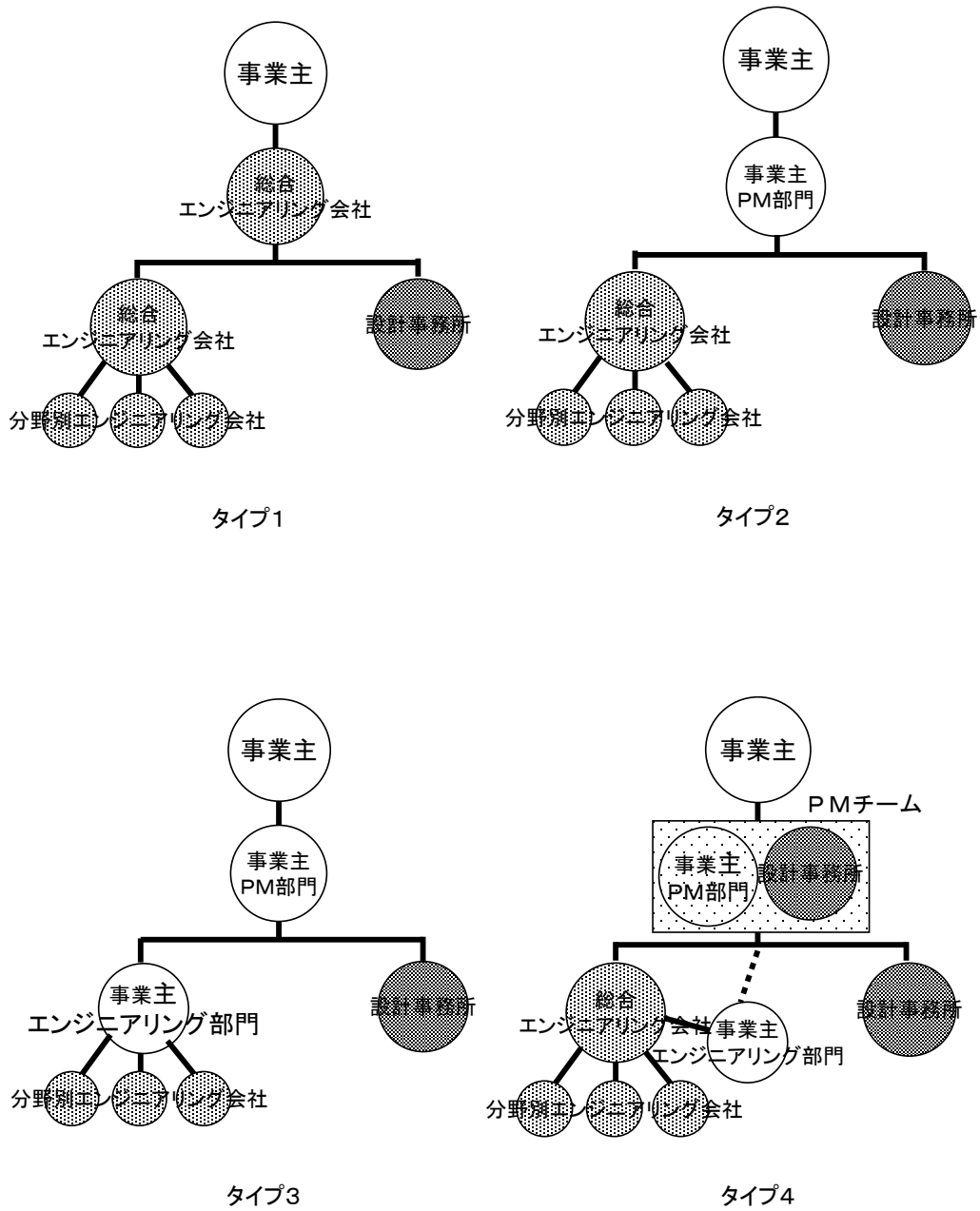
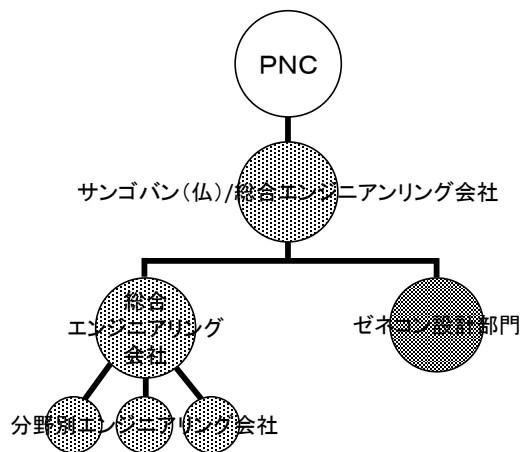


図2-4 基本プロジェクトチーム編成類型図

(1) 東海・再処理施設分離精製工場

サンゴバン(仏)+総合エンジニアリング会社

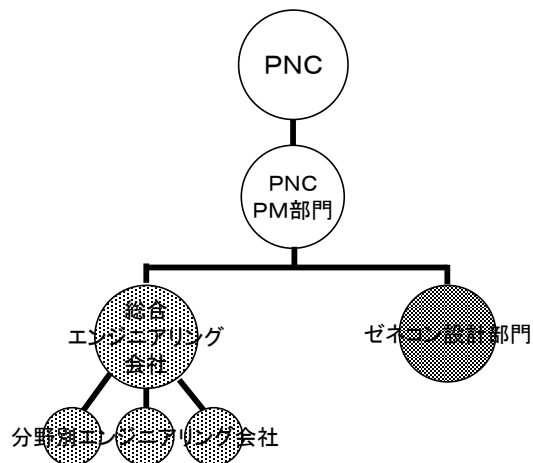
(+分野別エンジニアリング会社+ゼネコン設計部門)



タイプ1

(2) 東海・CPF

総合エンジニアリング会社(+分野別エンジニアリング会社)+ゼネコン設計部門



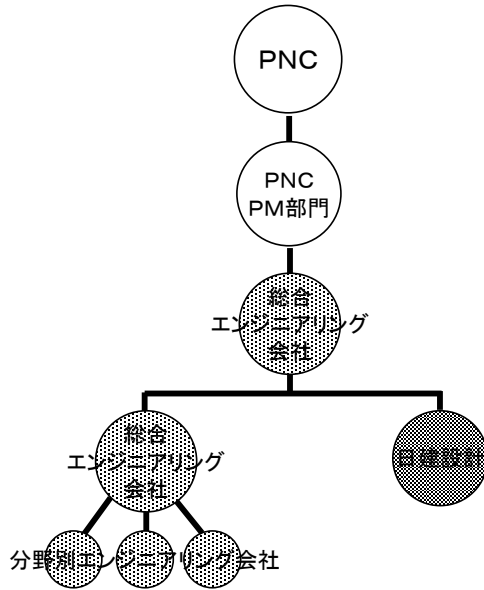
タイプ2

図2-5 動力炉・核燃料開発事業団における設計体制の変遷(1)

[凡例] PNC:旧)動力炉・核燃料開発事業団

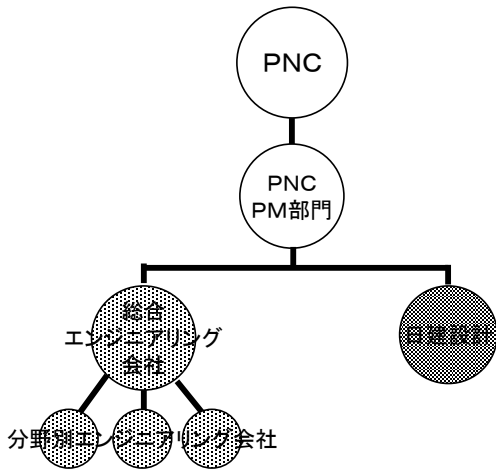
(3)東海・TVF

[概念設計～基本設計1] 総合エンジニアリング会社(+日建設計)



タイプ1

[基本設計2～詳細設計] 総合エンジニアリング会社+日建設計



タイプ2

図2-6 動力炉・核燃料開発事業団における設計体制の変遷(2)  
[凡例] PNC:旧)動力炉・核燃料開発事業団

(4)大洗・常陽第2プール

総合エンジニアリング会社+日建設計

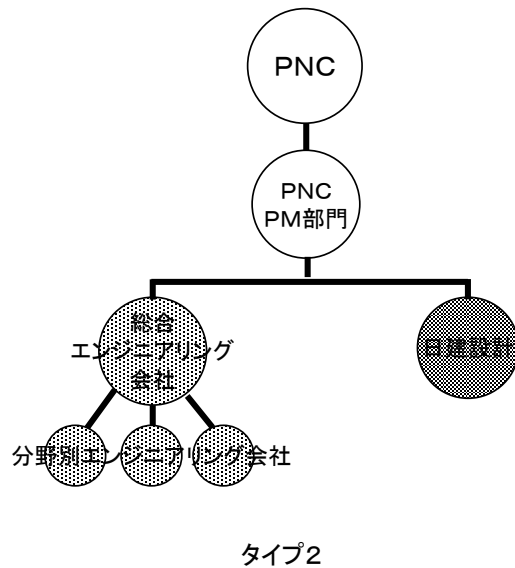


図 2-7 動力炉・核燃料開発事業団における設計体制の変遷 (3)

[凡例] PNC : 旧) 動力炉・核燃料開発事業団



図 2-8 日本原子力研究開発機構 大洗事業所 常陽第2プール外観パース  
[資料提供 ; 日本原子力研究開発機構]

(5) RETF 総合エンジニアリング会社+日建設計

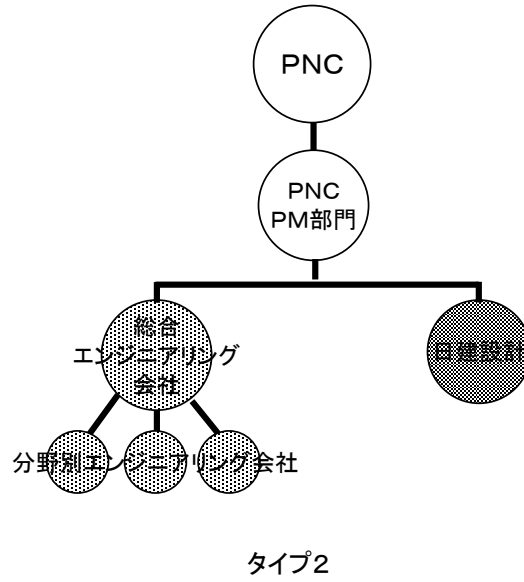


図2-9 動力炉・核燃料開発事業団における設計体制の変遷(4)

[凡例] PNC:旧)動力炉・核燃料開発事業団



## 2-4 将来へ向けた自由度の高い建築計画の必要性

企業が致命的な打撃を被るおそれのある事象として設備投資のリスクマネジメントの不備から生じる問題がある。前述2-2、(2)は企業の社会的な信用が大きく失墜するおそれのあるものであるが、それ以外にも下記の事象が想定される。

- (3) 企業が予期しない設備投資の損失を生じるおそれのあるもの。例えば、二重投資、見通しを誤った性急な設備投資
- (4) 企業が市場競争力を喪失するおそれのあるもの。例えば、出遅れあるいは遅延した設備投資

安定した社会の存立と同様に企業が生き延びていくためにはこのような事象が発生しないよう将来へ向けて自由度の高い建築計画を立案することの重要性は高い。守りと攻めのための設計手法とも言える。

1970年から1980年代までは将来の増築計画へ向けてある程度予備的設備投資を行うことが一般的であった。下記のような準備である。

- 1) 工場の増築方向を予め計画してその方向へ構造的な増築準備をしておく。例えば、増築用梁型、スラブ型、基礎型等により増築建屋と構造的に一体となる仕掛けをしておく。基礎に至っては増築側も荷重を想定して予め大きな基礎を建設することもめずらしくない。
- 2) 増築工事で1期工場内の操業に支障が生じないように予め緩衝帯（バッファ）空間を想定しておく。例えば1期工場側に外周通路を設けておく。
- 3) 増築工場と連続する動線計画を予め想定して1期目の工場動線を設計する。増築後内壁となる1期工場外壁は動線上の予備的な開口（通路、扉用）を設けておく。
- 4) 建屋設備機械室も増設スペースを用意する。例えば、将来設置しやすいように機械基礎を予め設置するか、設置する場所を決めて確保しておく。
- 5) その他、同じ工場を増築することを前提とした予備的措置を最低限しておく。

当時は増築する確度がある程度高く、市場が伸びればすぐにでも増産できるように考えておくのが普通であった。建築設計者はそれを前提に設計する立場にあった。

ところが1980年代から1990年代に掛けて施主の意向が次第に様変わりしてきた。生産品の仕様変更が頻繁になり、1期工場での生産形態では新規の生産品が製造できない状況が現れ始めたからである。同じ生産品でも技術革新により大きさ、精細度、用途変

更等機能上から仕様が想定以上に異なってくる。そのため製造エリアの雰囲気（温湿度、クリーン度、帯電防止等の仕様）や生産装置の形状寸法、あるいはユーティリティ負荷等が1期工場の延長ではもはや不可能となるケースもめずらしくない。生産品そのものが既存工場と全く違うものになるケースも出てきた。市場で既存生産品の生産量は1期工場で賄える程度に落ち着いたために、増築エリアでは別生産品のための工場を建設するといった情勢変化によるものである。

このように情勢が変化すると上述方針が全く意味をなさない、無駄な予備的な投資計画となる。1期は他の設計者が担当し、筆者が2期目から担当したプロジェクトでは下記のように方針を一部変更することとなった。

- 1) 増築する工場では1期工場の柱割を全く見直す（スパンを広くして生産エリアの無柱空間を大きくする）ために構造設計上の予備的措置を行った部位は利用できない。先ずそれらをすべて切り捨てる（カットオフする）こととなる。つぎに1期増築用基礎を外して、新規の基礎と柱を設ける、あるいは増築用基礎をよけて離れたところに新規に基礎、柱を設計して、片持ち基礎梁とする等の方策が必要となる。
- 2) 緩衝帯は利用して増築工事を行うことでは当初の考えを踏襲する。
- 3) 1期工場と増築工場の接続部では、物流動線は遮断して、従業員の動線のみ1期工場の動線を承継する。
- 4) 1期建築設備機械室内では増設設備設置が困難なため、1期工場内の予備設置スペースを利用しないで、増築工場内に新規に建築設備機械室を設ける。
- 5) その他の予備的措置は増設工場ではあまり利用できないため、ほとんど新たな計画とすることを余儀なくされる。

つまり、上述2)を除き、同じ工場を増築する前提での予備的設備投資は全く無駄となってしまった。予備的措置はむしろ余計な邪魔もの扱いである。そこで下記の方針が今日的な考え方である。

- 1) 1期工場から増築する可能性がある場合でも、1期工場として完結した計画に留めておく。構造設計上の増築への予備的措置は一切行わない。
- 2) 1期工場と増築工場との間に緩衝帯的な通路は1期側に設けるのではなく、増築の際に増築側で建設工事仮設計画上最適な施工方法を考える。
- 3) 1期工場と増築工場との接続部での動線計画では動線継承は最小限にとどめて、最低限の従業員のみを抑える。
- 4) 建築設備機械室は出来るだけ各期独立して計画する。もっとも中央集中型のユーティリティが効率的な場合は分散、集中を使い分けて計画する。

(参照；後述4-1-1、(5))

このように増築を考慮した建築計画は時代とともに変化しており、設備投資リスクマネジメント上から好ましい、自由度が高くリスクの少ない建築計画とすることの重要性はますます増大していくと考える。第4章で詳しく述べる。

### 第3章 防御設計手法の開発研究と実践例

本章では防御設計要素概念図をもとに防御設計手法を研究する。今日的な新しい設計要件として振動伝播遮断、放射線遮蔽等のほか、敷地周辺公衆からの施設イメージ改善等を含む防御設計がある。実践例としてビッグサイエンスと呼ばれる厳格な設計要件の遵守が要求される国家規模の研究開発プロジェクトを中心に防御設計手法の研究成果を述べる。

#### 3-1 開発研究対象

建築設計における防御設計要素概念図を図3-1、図3-2に示す。生産等施設の防御対象としての装置（以下、生産装置と呼ぶ）が設置される施設建屋内部空間から建屋内壁で区切られた各室内部空間、建屋内の外周空間、建屋外壁、さらに敷地内・外部空間、敷地境界緩衝帯、敷地境界線に至るそれぞれに防御設計の設計要素がある。

ここに、建屋設計の対象設計要素範囲は生産装置が設置される直近の施設建屋内部空間から施設建屋外壁まで、また敷地配置計画の対象設計要素範囲は敷地内・外部空間から敷地境界線までと定義する。

建築設計上の防御設計は生産装置からの能動的な作用か、生産装置の受ける受動的な作用か、つまり生産装置から発する建屋内部あるいは敷地周辺への負の影響か、あるいは敷地外、建屋内部から生産設備へ及ぼす負の影響か。負の影響を防御すべきベクトルにより、またどの設計要素位置での防御設計が合理的か、費用対効果はどうか等守るべき建築設計の設計要件に照らして図3-1、図3-2をもとに判断すべきである。

今日的な新しい設計要件として下記の3つのプロジェクトについて防御設計手法を開発研究した。

- (1) 防災科学技術研究所  
実大三次元震動破壊実験施設
- (2) 日本原子力研究開発機構（旧）動力炉・核燃料開発事業団  
リサイクル機器試験施設
- (3) 量子科学技術研究開発機構（旧）日本原子力研究所  
関西光科学研究所

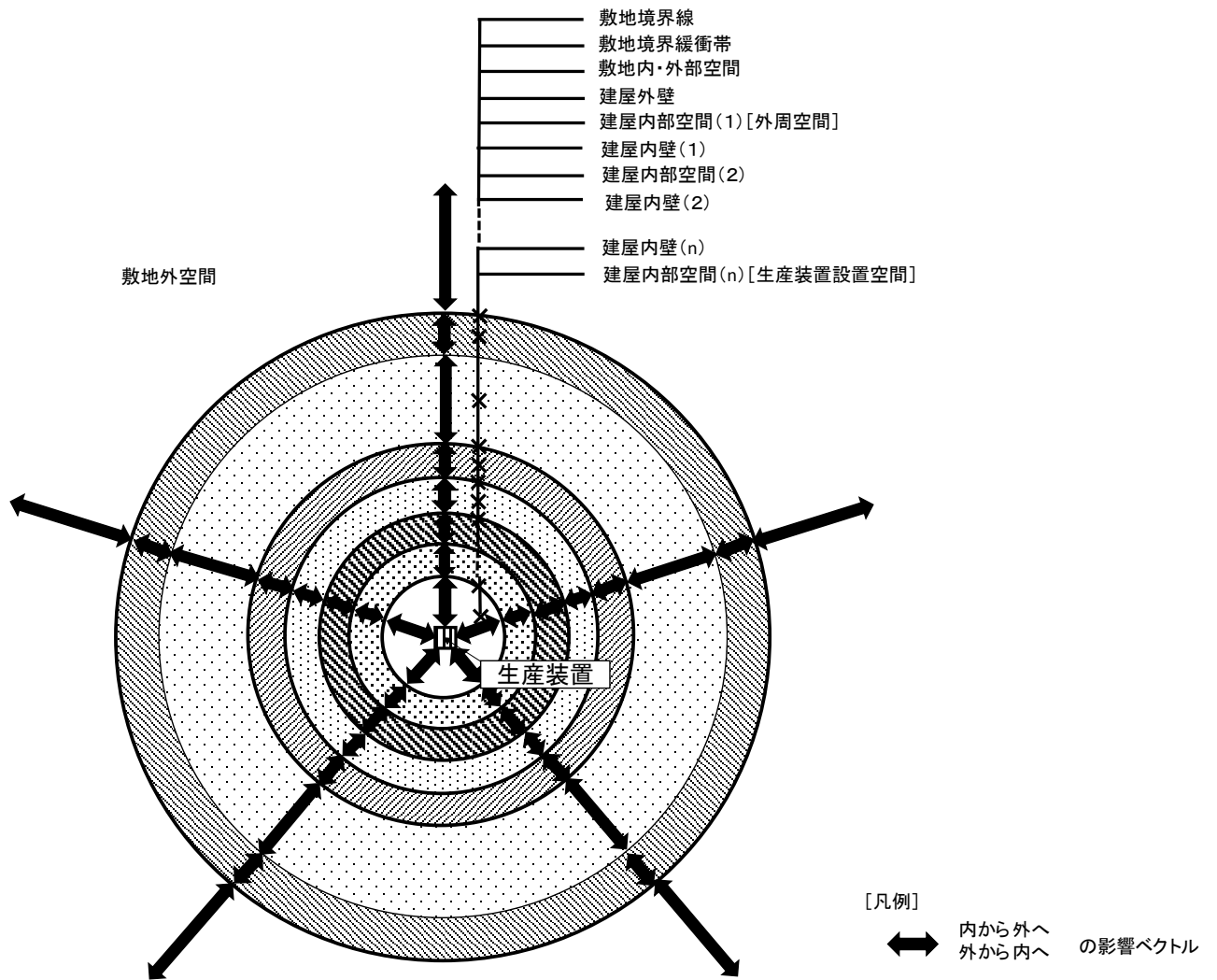


図 3 - 1 防御設計要素概念平面図

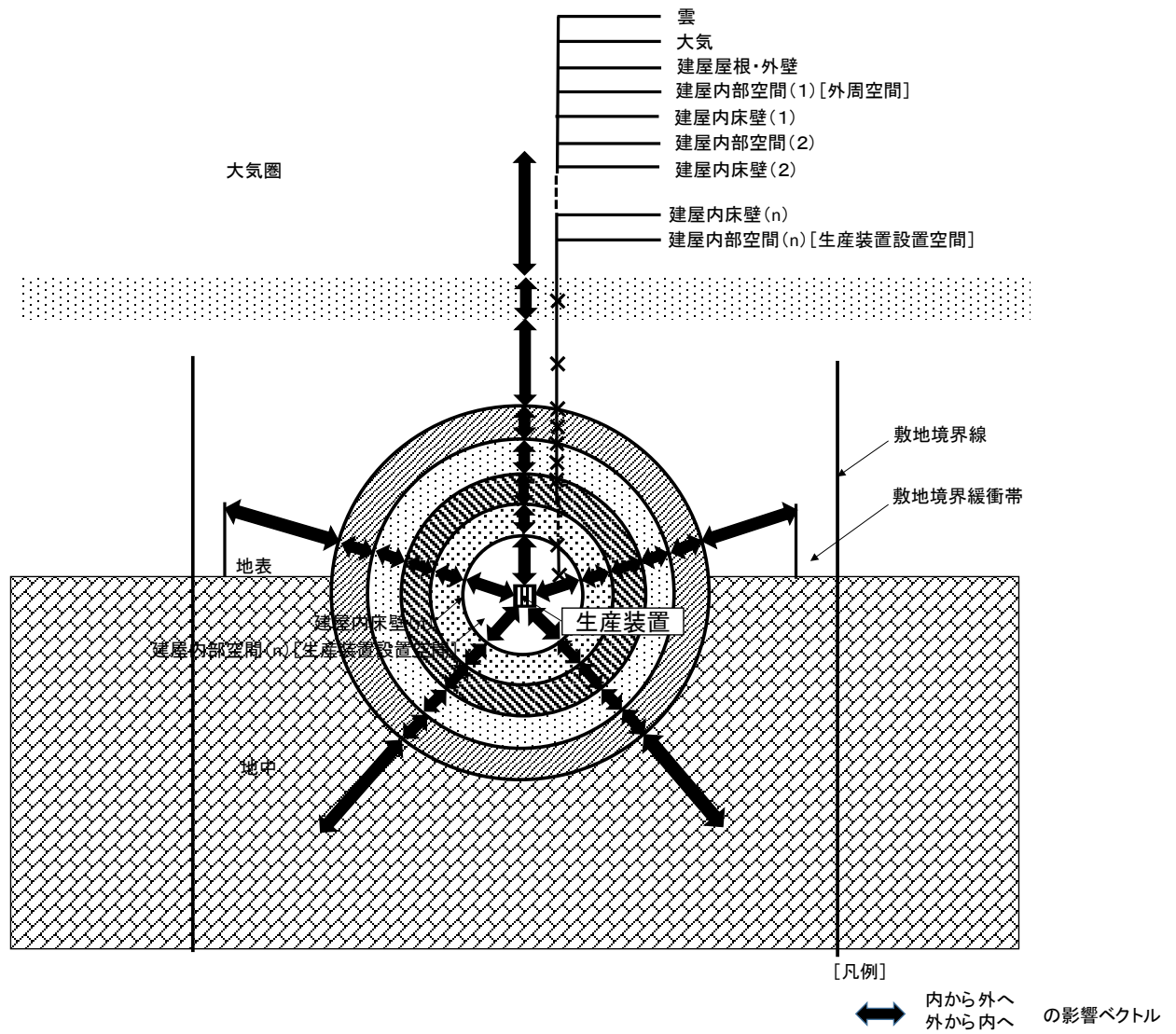


図 3 - 2 防御設計要素概念断面図

### 3-2 振動伝播遮断のための防御設計手法と実践例（その1）

この設計要件は兵庫県立三木総合防災公園（敷地面積 202.5ha）内に建設された防災科学技術研究所実大三次元震動破壊実験施設（E-ディフェンス）のものである。（参照：写真3-1、図3-3）「地震災害に強い社会を目指すこと」を基本目標に建設された。実物大の試験体を壊して“建物がどう壊れるか”、“どこまで壊れるか”、“なぜ壊れるか”を解明するための世界最大規模の地震研究施設である。

とくに社会インフラに係る施設の地震に対する安全性向上のための情報取得へ向けて、銀行の支店クラスの建物であれば破壊できる能力を有する。地震動による破壊を最大の目標とすることから震動破壊実験施設と命名された。（参照：図3-4、表3-1）一般的な振動を伴う機械基礎の領域をはるかに超える規模である。

既存の三次元震動実験施設は世界に20~30あるが小型ないし中型の振動台で300トン程度の構造物試験体を載せるのが最大のものと言われている。また現存していないが同規模の振動台が香川県仲多度津郡多度津町にあった。（以下、多度津工学試験所と呼ぶ）最大積載量が1000トンで、加振方向が同時2軸である。これらの振動台は先行事例として参考にできるが、1,200トンレベルの試験体を三次元震動で破壊する性能と規模は初めてとあってよい。実物大の建物を破壊するほどの振動はまさに地震規模を意味し、周辺地域へ地震発生と錯誤されないよう、内から外への振動伝播をいかに遮断するか、一方では人工的な地震波を、たとえば兵庫県南部地震の記録地震波を振動試験体の損傷の程度とは無関係に、破壊するまで忠実に再現できるかの2つの厳しい設計要件が求められた。

#### 3-2-1 振動伝播遮断のための防御設計方針

すでに表2-1で評価したように振動伝播遮断については機械振動を対象に開発設計がかなり進んでいる。文献23) (pp85-92)では精密が要求される大型機械の基礎の設計は在来のような設計、施工の考え方では不可能であって、下記のような根本的な設計を要することを述べている。

- (1) 基礎の変位は（沈下または湾曲回転、移動等）が機械工作精度に影響を及ぼさない程度であること。
- (2) 外部（周囲）から伝達される振動を上部機械に伝えない。少なくとも悪影響のある振動とならないようにすること。
- (3) 上部機械の振動を周囲に伝播することのないようにすること。
- (4) 基礎の保守作業が容易安全であること。
- (5) 上部機械の作業、管理が容易安全であること。

(6) 施工が容易で安価なこと。

さらに、普通採用されるのは自己の振動に対しては機械ならびに載荷重の1.5倍～2.5倍くらいの重量の基礎を設計することであるが、もちろん上述のような検討の上から計算された重量とすることが望ましいと述べている。

文献24) (p27) では研究所を念頭に機器・装置に影響を与える振動源(内から外へ、外から内へ)と伝播経路を例示して振動伝播遮断の手法が示されている。基本的には機器・装置を防振材で受けて、さらに防振基礎を支持地盤に設置して防振基礎廻りを周辺構造体から絶縁して振動伝播を遮断することであることを示している。

実大三次元震動破壊実験施設のように地震規模の振動を発生する実験施設における振動伝播遮断のための設計は文献24)のような設計手法では達成できないことは明らかであるが、文献23)の設計方針は本プロジェクトに非常に有意義である。上述(3)の設計方針は全くその通りであり、(1)の設計方針も建築設計側で加振装置(以降アクチュエータと呼ぶ)の加振性能をいかに最大限に生かせるかの問題と言える。(2)は問題とならないが(5)、(6)は当然な設計方針である。(4)の基礎の保守は現実的に保守不可能な基礎の大きさとなると想定できることから設計方針からは除外した。

先ず内から外への防御設計の設計要素を検討する上でこの場合生産装置とは試験体を搭載する震動台と加振装置の反力となる震動台基礎である。図3-1に示す平面的な防御設計要素では生産装置設置空間(n)と建屋(n)が建屋内部空間(1)[外周空間]と建屋外壁となる一重の設計要素の場合である。平面的な震動絶縁では敷地境界緩衝帯に溝を掘る手法<sup>23)</sup>があるが地震規模の震動に対して期待できるものではない。図3-2に示す断面的な防御設計要素から考える必要がある。断面的な設計要素も平面と同様に一重の要素であり、建屋が支持される自然地盤との境界である震動台基礎底面での境界条件が重要となる。

機械振動防御設計では前述の通りこの震動台基礎底面で振動を除振材で遮断する場合と震動台基礎を周囲から絶縁して支持層に直接設置する場合が一般的である。しかし地震規模の震動台の場合、振動を遮断するだけでなく、加振装置が精密に試験体を加振できなければならず、震動台基礎自体を振動させることとなる前者の設計手法は適していない。あくまで震動台基礎を支持層へ直接設置する後者の設計手法が前提となると考える。もっとも平面的設計要素における溝のように地震規模の震動台基礎を周囲から絶縁する設計手法は適さない。

そのため震動台基礎を周囲から絶縁する必要のないレベルまで震動台基礎の振動自体を抑える設計手法が必要である。つまり震動台基礎の支持地盤を極めて強剛な岩盤をすると



もに、振動体の重量（試験体及び震動台の合計）に対して震動台基礎の重量を圧倒的な大き  
きで確保する防御設計が求められると考える。

そこで振動台基礎の基本的な設計方針を下記の通り設定した。

- 方針1 震動台基礎を堅固な地盤（岩盤）に直接設置する。
- 方針2 震動台基礎重量を試験体と震動台の総重量の100倍以上確保する。
- 方針3 震動台基礎には加振機推力に対して十分な耐力と剛性が確保できる反力壁とし  
ての性能を保持させる。

方針1は振動レベルが地震に匹敵することから振動台基礎を支持地盤から絶縁するの  
ではなく、堅固な支持地盤と一体とすることで振動エネルギーが堅固な地盤へ地中逸散減衰  
することを期待するとともに、振動台基礎の水平振動を抑えて支持地盤より上部の地層に  
水平振動が発生しにくいようにする。方針2は振動機械ならびに載荷重の1.5倍～2.5倍く  
らいの重量の基礎を設計するこれまでの設計方針<sup>2,3)</sup>に対して、多度津工学試験所の振動台  
基礎が振動体の100倍程度の基礎重量を確保していることから100倍以上にすることとし  
た。方針3は振動台基礎をできるだけ忠実に3次元有限要素法で解析し、耐力、剛性ともに  
10倍以上の裕度のある設計とする。とくに剛性では、震動台基礎がアクチュエータの反力  
により変形するとそれを補正するためにさらに油圧を掛けることとなるが、アクチュエー  
タの油量に限界があり、できるだけ余分に油量を消費しないためにも剛性の確保に努める  
必要があった。また実大のアクチュエータによるモックアップ試験（水平各2本、鉛直4本）  
では想定以上の反力壁が必要となったことから剛性確保に十分配慮した設計とする。

本実験施設は実大の試験体、それも銀行の支店クラスの建物を破壊するまで震動できる  
ものであり、当然ながらビルの倒壊や中間層破壊等の事象を実際に再現できる。また、ター  
ビンミサイルのように突然試験体の構成部材が飛び出ることもあり得る。そこでそのよう  
な危険な事象が発生する可能性のある場合は震動実験室内を目視で監視できる制御室の窓  
は鎧戸で閉鎖し、また実験室内の床、壁には厚さ5mほどのショックアブソーバを設置して  
構造体を損傷することのない防御策を講じることも検討した。（参照；図3-5）もつとも  
そのような対応を必要とする実験はこれまでないが、今後は必要になるとも考える。

### 3-2-2 実践例（その1）

建設地として兵庫県三木市の敷地が選ばれた。震動台基礎の支持地盤は谷筋にある神戸  
中硬岩である。震動台が設置される実験棟以外の建物（計測制御棟、油圧棟等）は同一の支  
持層へ杭支持することとした。（参照：図3-6）

震動台基礎の設計では、実験棟平面寸法すべてを基礎にしてもアクチュエータへの反力壁の剛性が不足するためさらに振動台基礎を建屋外に拡張した。一方、加振装置の制御周期目標が 20Hz であったことから共振を避ける意味から震動台基礎のロック固有振動数を 20Hz 以上とする必要があった。支持地盤が中硬岩であり、十分強剛と考えていたが、ロック振動 20Hz 以上の確保はやはりハードルの高いものであった。ちなみに、基礎底面は中硬岩に埋まるレベルにあり、通常の掘削機械では中硬岩を掘削が出来ず、発破が用いられるほどの堅さであった。

震動台基礎寸法は長さ 86m、幅 58.5m、深さ 25m で、試験体重量 (12,000kN) と震動台重量 (8,000kN) の合計 20,000kN に対して、約 100 倍の 2,000,000kN の鉄筋コンクリート造 (コンクリート約 9 万 m<sup>3</sup>) とした。加振機推力に抗する巨大なコンクリート基礎はこのように各種シミュレーション結果を断面設計にフィードバックして重量と剛性を確保するとともに、この巨大な基礎のコンクリート施工では現場内に生コンプラントを建設して生コンクリートの搬送を速やかにし、基礎コンクリート内に有害な収縮亀裂による空隙が発生しないよう中庸熱セメントコンクリートを使用し連続薄層打設法を採用する等施工品質管理も徹底した。(参照：写真 3-2、写真 3-3、写真 3-4)

このような技術的な各種検討のほかに、念密な掘削・埋戻し計画に基づく造成により土砂運搬費及び残土処分費の低減、敷地内に建設された上述の仮設コンクリートプラントによる生コン運搬費の低減など、コスト面でも様々な工夫を行った。

また 400t クレーン 2 機実装の実物大試験体破壊を行う実験室は 3 本組柱+大型トラス架構による 86m×50.5m の無柱空間を実現している。

建屋配置では、計測制御棟—実験棟—油圧源棟—屋外機器エリアを一直線に並べて、配管・配線類を最短化してシステムの効率化を図った。また、試験体製作、解体ヤードを実験棟両脇に 2 箇所設置して実験の効率的運用に配慮した。施設前面の計測制御棟には「顔」としてのデザインを行っている。

### 3-2-3 施設の総合評価

結果として敷地周辺への振動伝播の問題は回避できた。設計段階で敷地周辺に先祖代々の墓地があり、震動実験が原因で墓石が倒れるのではないかと懸念されたがそのような事象はいまのところ発生していない。もっとも、敷地内の計測制御棟、油圧源棟は中硬岩に杭支持されており、震動台基礎からの上下動が杭を伝播して床を多少揺する現象が生じている。この上下動は体感できるほどではなく、敷地外ではそのような現象は生じていない。

実大三次元震動破壊実験施設として運用開始後課題となったのはロッキング振動の制御である。試験体がロッキング振動を生じやすい場合にとくにその制御が難しい。今後の改修計画に期待したい。



写真 3-1 E-ディフェンス全景  
[写真提供：防災科学技術研究所]

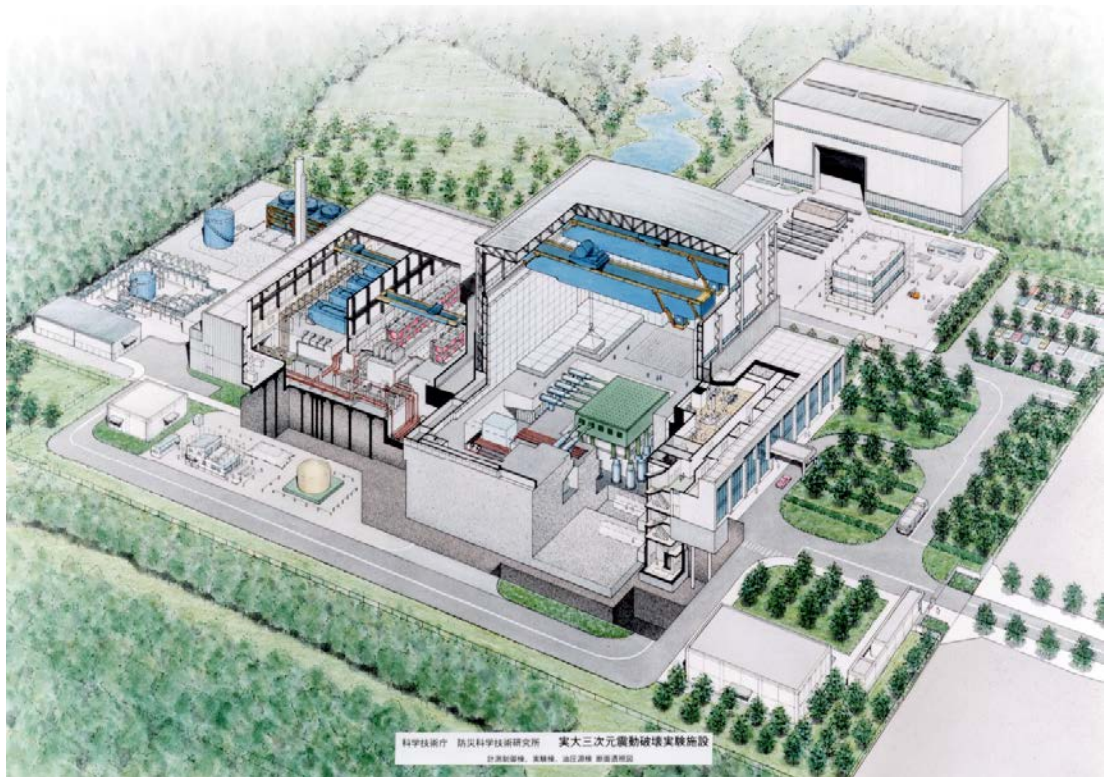


図 3-3 E-ディフェンス断面パース  
[資料提供：防災科学技術研究所]

### こんな実験が可能です

震動台の大きさ、載せられる最大の重量、加振できる加速度・速度・変位の大きさなどを最大限に利用して、実大規模の構造物の破壊過程と新しい耐震技術を三次元の震動で検証することができます。

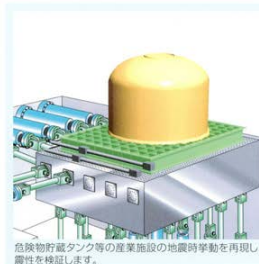
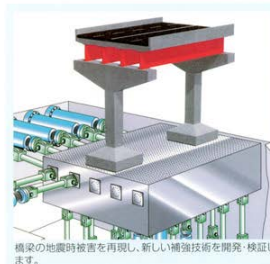
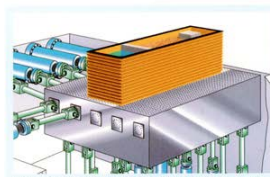
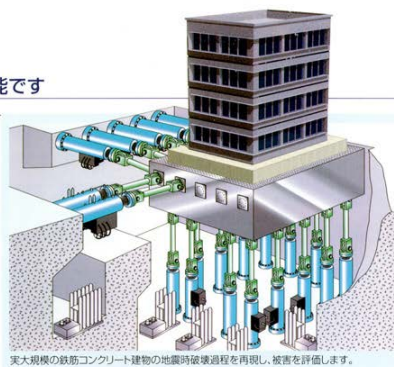


図 3-4 E-ディフェンスの実大試験体  
[資料提供：防災科学技術研究所]

表 3-1 E-ディフェンスの振動性能  
[資料提供：防災科学技術研究所]

最大搭載重量	12000KN		
搭載面積	20mX15m		
加振方向	3次元(X, Y, Z)		
最大加震性能	加速度 (G)	速度 (cm/s)	変位 (cm)
水平	0.9	200	100
垂直	1.5	70	50

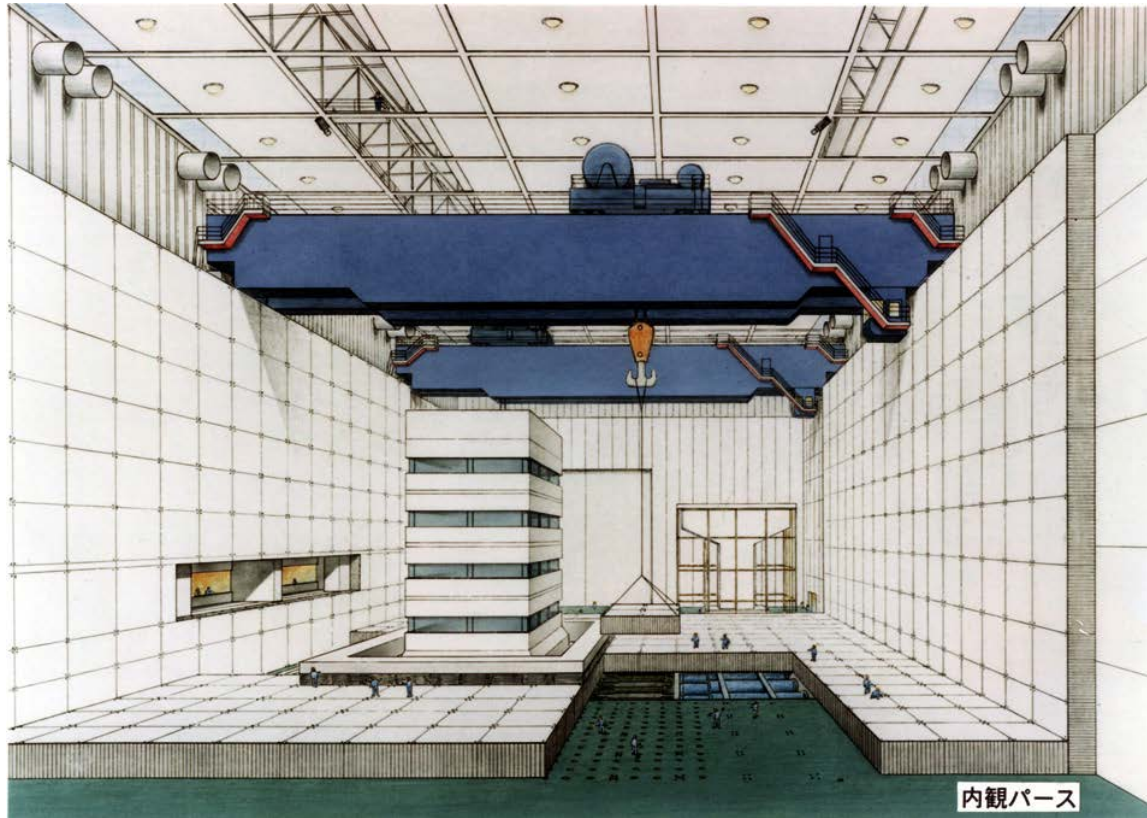


図 3-5 E-ディフェンス内観パース

[資料提供：防災科学技術研究所]

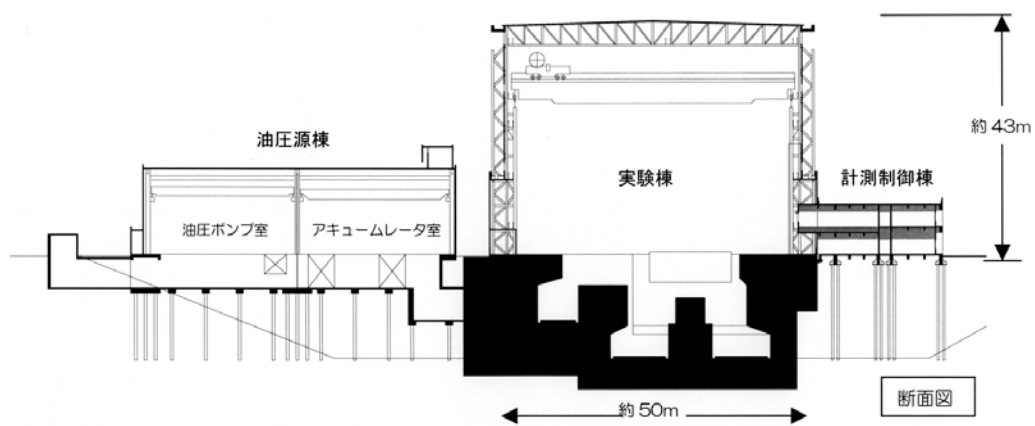


図3-6 E-ディフェンス断面図  
 [資料提供：防災科学技術研究所]



写真3-2 E-ディフェンス基礎工事  
 [写真提供：防災科学技術研究所]



写真3-3 震動台ピット  
[写真提供：防災科学技術研究所]



写真3-4 アクチュエータ  
[写真提供：防災科学技術研究所]



### 3-3 放射性物質に対する多重防御設計手法と実践例（その2）

この設計要件は茨城県那珂郡東海村にある日本原子力研究開発機構（旧）動力炉・核燃料開発事業団）で建設中のリサイクル機器試験施設（以下 RETF と呼ぶ）のものである。本施設は高速増殖炉「もんじゅ」の使用済核再処理施設であるが、1995 年もんじゅにナトリウム漏えい事故が発生したことから建設工事が中断している。

原子力発電所は放射性物質が固体の核燃料として原子炉内に存在する 1 点集中型施設であるのに比べて、原子炉使用済燃料の再処理施設は、固体、液体、気体の放射性物質が施設内各プロセス工程塔槽類内に分散して存在する施設であることが大きな特徴である。1 つの再処理施設が原子力発電所の数十基分に相当する放射性物質を内蔵する場合もある。このことから再処理施設内の放射性物質の扱いが非常に重要な施設である。また、再処理により得られるウラン、プルトニウムは核燃料サイクルを形成する上で有用な物質であるが、その保管は臨界安全形状の容器内で行うとともに取り扱いは原則としてジャイアントグローブボックスにて遠隔操作で行われる。とくに体内被ばくが問題となるプルトニウムに対しては動的封じ込め（負圧管理）が重要である。原子炉での核分裂反応から生じた核分裂生成廃棄物（FP: Fission Product）もいわゆる核のゴミとして多種多様に回収されることから非常に厳しい管理が求められる。これらの熱密度は低い長期に発熱するため冷却設備が必要となる。

#### 3-3-1 放射性物質に対する防御設計方針

この使用済核燃料再処理施設は 2-2 で述べたように防御障壁が損なわれた場合に周辺公衆へ甚大な負の影響を及ぼすおそれがあることから多重防御が必要である。この負の影響とは放射線による外部被ばくのほか、放射性物質の吸引等により体内に放射性物質が侵入する内部被ばくとがある。そのため下記 2 つの防御設計方針が求められる。

方針 1 放射線遮蔽（コンクリート、鉛、遮蔽扉、遮蔽窓等による直接的な遮蔽）を確保する。

方針 2 動的封じ込め（浮遊する放射性物質の負圧管理による拡散防止、除去等）を確保する。

このように放射線と放射性物質による建屋内と周辺公衆への影響をできるだけ低く抑える（ALARA: As Low As Reasonably Applicable）ために建屋側の防御設計が必要である。また多重防御のための設計手法として工業分野で広く用いられているものは下記の 4 つである。

- (a) 多重障壁(Double/ Multi Barrier)
- (b) 多重封じ込め(Double/Multi Containment)

(c) フェールセーフ(Fail Safe)

(d) 冗長化(Redundancy)

つまり方針1、方針2及び(a)、(b)、(d)の設計を組み合わせた多重防御設計が求められると考える。

方針3 放射線遮蔽及び動的封じ込めの防御設計を多重に設ける。

以上の3つの防御設計方針を基本とする。

原子力発電所及び使用済核燃料再処理施設等の原子力工業施設の設計に関する建築関連文献は少なく、とくに核燃料再処理に関してはフランス・La Hague ユーロケミック社、アメリカ・ニュークリア・フュエル・サービス社、アメリカ・ユニオン・カーバイト社の再処理工程概略説明図、概略平面図、概略断面図等が示されている<sup>2 3)</sup>が防御設計に関する記述は見られない。工程配列についてL字型、U型等があり、保守方法として直接保守、遠隔保守の別が示されている。また施設内を4つの区域(<青、緑、黄、赤>あるいは<グリーン、黄色、オレンジ、赤色>)に区分し、それぞれの区域ごとの放射線レベルの定義あるいは換気条件等が示されている。

我が国の既存再処理施設は茨城県那珂郡東海村にフランス・サンゴバンの基本設計による軽水炉使用済核燃料の分離精製工場がある。現在青森県六ヶ所村では日本原燃が再処理施設を建設中である。

既存東海再処理施設はフランスの基本設計によることから、RETF もフランスの考え方を踏襲して、施設内はレッド、アンバー、グリーン、ホワイトの4段階でエリア管理される。(参照:表3-2) レッドは空間線量率が非常に高く、あるいは空気が有害な放射性物質で汚染されている区域である。保守点検は遠隔操作が基本で、パワーマニピュレータ、マスタースレーブマニピュレータ等を使って行われる。アンバーは空間線量が一定条件を満足する場合に除染して、あるいは遮蔽防護具、防護マスク付きのエアラインを装備することで入室がある程度可能な区域である。グリーンは通常空間線量が自然界レベルで、汚染の可能性がない区域であり、ホワイトは一般の見学者が立ち入り可能な区域である。

まず、内から外への防御設計の設計要素を考える上で認識すべき重要な前提条件は前述の通り再処理施設では放射性物質を取り扱う部屋(以降セルと呼ぶ)が各所に分散し、その形態も固体、液体、気体と各種あり、一点集中型ではないということである。図3-1、図3-2において中心の生産装置設置空間の中にさらに複数の生産装置設計空間が混在しているような図式である。さらに、前述の通り、セル・室は4つの区域に区分されていて、保

守方式も直接保守と遠隔保守の 2 通りある。このような前提条件も建築設計上考慮しなくてはならない。つまり、**図 3-1**、**図 3-2** の各内部空間において各間仕切り壁は放射線遮蔽を意識した壁厚とするとともに、動的封じ込めのために壁に取り付く扉は適切な気密性を確保する等多重の防御設計が求められると考える。

そこで防御設計方針の内、方針 3 の多重防御へ向けた実践ベースの追加方針として下記 3 つを設定する。

- 方針 4 遠隔保守を大前提とするラックシステムからなる試験セル（レッド区域）は建屋の中心部に配置する。
- 方針 5 レッド区域、アンバー区域、グリーン区域、ホワイト区域の順に、できるだけ後ろ（レベルが低い）の区域が前（レベルが高い）の区域を囲うよう、つまり「入れ子」構造になるように計画する。
- 方針 6 レッド区域、アンバー区域、グリーン区域、ホワイト区域の各区域間で適切な差圧を設けて、レベルの高い区域からレベルの低い区域へ放射性物質が漏えいしないよう差圧管理による動的封じ込めを徹底する。

試験セルのラックシステムはすでに前述高レベル廃液ガラス固化施設 TVF で実証済みであるが、ガラス固化と再処理ではやはり工程の難しさが格段に違い、遠隔保守システムそのものも多重な対応が必要とされる。そのため、試験セルの上に本格的なりペアセル、除染セルを配置する。方針 5、方針 6 は多重防御の基本である。建築計画的にはこのほか動線計画と更衣システムの課題がある。上述 3 つの方針は内から外への防御として周辺公衆の安全のためとともに施設内作業員の安全のためのものでもある。さらに、作業員の各区域立入では着衣の一部がホワイト、グリーン、アンバー色に着色された衣服に着替えるルールがある。またその出入管理のための各区域間の更衣室は基本的に施設内に一箇所としている。そのため複数階にまたがる各区域はそれぞれの区域専用の階段で往き来できる計画が必要である。原子力施設ならではの動線計画である。

### 3-3-2 実践例（その 2）

区域管理概念図を**図 3-7**に示す。前述方針 1～6 を順守した設計である。**図 3-2** の防御設計のための設計要素概念断面図では大気中の雲を表現している。放射線遮蔽ではスカイシャインの検討もある。再処理施設におけるスカイシャインとは建屋上部、あるいは壁から空中へ放散された放射線が大気中の雲に反射して地上に向かって戻ってくる現象である。当然そのような放射線は敷地周辺の公衆への被ばくの問題となるため、この事象による影響を検討する。大気中に放射するとは言え、屋根スラブも遮蔽を考慮した設計が必要となる。場合によってはスラブに埋め込まれた遮蔽蓋も解放された状態で検討する。また、試験

セル等が地中と直接隣接する箇所では試験セルのスラブは遮蔽を考慮した厚さにして、かつセル底板スラブを二重にする設計が必要となる。これは試験セル内の空間線量が高いためそのままでは自然地盤が放射化するおそれがあるからである。放射化しないレベルに下げのために底板スラブを厚くする一方、二重スラブの内部はモニタリングできるよう考慮する。

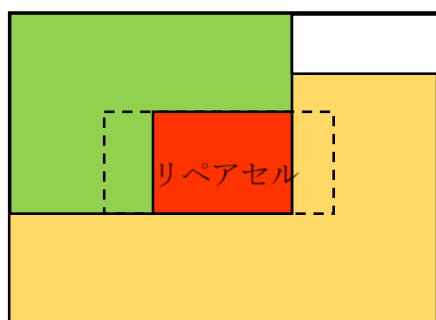
このような施設の設計は基本構想から概念設計、基本設計、詳細設計、さらに調整設計までの各段階を経て、必要な場合には1つの設計段階をその1、その2等に分けて設計して安全性の検証を行う。RETF は基本構想から概念設計、詳細設計、変更設計まで9年を要した。

### 3-3-3 施設の総合評価

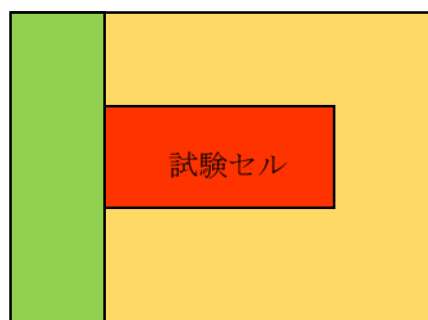
再処理施設としての安全審査は完了し、建設工事が進行していた1995年に高速増殖炉「もんじゅ」のナトリウム漏えい事故が発生し現在建設が中断している。建屋躯体は完成しているが建築設備及びリサイクル機器試験設備関連の内装設備が全く工事されていない。工事再開はもんじゅの運転再開が前提である。現時点で未だ運転再開の目途が立ってなく、総合評価をするまでには至っていない。

表 3 - 2 区域区分と線量率 [資料提供 ; 日本原子力研究開発機構]

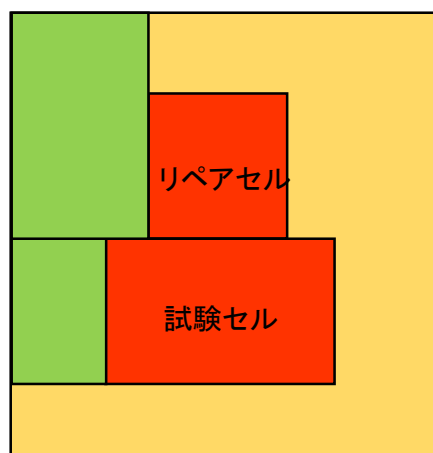
区域名	線量率 μSv/h	備 考
ホワイト区域	<2.6	事務室など、汚染のない区域
グリーン区域	≤12.5	操作区域など、平常運転時には汚染のない区域
アンバー区域	≤500	保守操作や一部工程を含む区域で、若干の汚染が考えられる区域
レッド区域	>500	セル内区域で汚染の考えられる区域



上階平面概念図



下階平面概念図



断面概念図

[凡例]

- ホワイト区域
- グリーン区域
- アンバー区域
- レッド区域

図 3 - 7 RETF 区域管理概念図  
[資料提供 ; 日本原子力研究開発機構]

### 3-4 威圧的な施設イメージ解消のための外観設計手法と実践例（その3）

この設計要件は京阪奈学研都市内に建設された量子科学技術研究開発機構（旧）原子力研究所）の関西光科学研究所のものである（参照：図3-8）。次世代の先端的な光源として期待される極短波長高出力レーザー光の開発と、その利用研究を展開する、レーザーに関連する研究開発施設であり、その施設目的から印象づけられる威圧感を払拭する設計が求められた。

これまで旧）原子力研究所の研究施設は東海事業所に代表される大きな箱型の建物に比較的大型の装置が設置されるものが主流であったが、この研究施設は原子力研究所のこれまでのビッグサイエンスではない、理化学実験室の実験台程度の机の上で小規模な各種レーザー実験を行うという新しいテーブルトップサイエンスの幕開けを宣言するものであった。

一方、レーザーはあらゆるものを破壊できるパワーがあることから、大気圏外の宇宙戦争で利用される光として一時恐れられた。そのためレーザーを研究開発する施設＝危険な施設とのレッテルを貼られかねない、諸外国からも牽制される先端技術研究開発施設でもある。このように閉鎖的かつ威圧感のある研究開発施設と受け取られかねないため、また建設地が京阪奈学研都市であることを前提に威圧的な施設イメージ解消の設計をすることとした。

#### 3-3-1 威圧的な施設イメージ解消のための外観デザイン設計方針

この設計要件は2-1で述べたように今日的な新しいもので、生産等施設での防御設計に関する研究成果は見られず、また実践例も少ないものである。

まず内から外への防御設計の設計要素を考える上で、これまでの旧）原子力研究所の研究施設のイメージが参考となる。つまり、これまでは建屋形状を単純な箱形状として、敷地周辺からは目視できない位置に建設している。敷地が大きく、そのような配置計画にすることが可能であったが、ビッグサイエンス、外に向けて閉ざされた研究施設とのイメージとなる。しかし、本プロジェクトは民間の研究施設が立ち並ぶ京阪奈学研都市の里山景観の中に建設するもので、防御設計として敷地周辺公衆の視線で、威圧感のない、開かれた施設、研究施設も見せられる建築として設計する必要がある。

そこで建屋設計の基本的な設計方針を下記の通り設定した。

- 方針1 実験棟は実験に直結させる必要のある諸室のみに限定して実験棟の建屋規模を抑える。
- 方針2 箱型建築のような平板な建屋を避けて、寄棟、切妻等の勾配屋根とする。

方針3 建設地域の歴史文化に馴染む佇まいと景観計画とする。

もっとも理化学実験室レベルとは言え最先端の研究開発施設である。研究はX線レーザー、レーザー加速、低繰り返しT3レーザー、高繰り返しT3レーザー等の実験によるもので、レーザーのパワーとしてはテラ（10の12乗）ワットからペタ（10の15乗）ワットの出力をフェムト（10の-15乗）秒で発振するという理科年表の桁を端から端まで使うものである。（参照：図3-9、写真3-5）ここでT3とはTable-Top Terawatt laserの略号である。

実験中に放射線を発生するエリアがあるため遮蔽壁が必要であり、前実践例と同様に研究者と敷地周辺公衆への放射線による負の影響を多重防御するために入れ子構造を採用する。もっとも電気を切れば放射線の問題は基本的になくなる施設である。

#### 3-4-2 実践例（その3）

本研究所が建つ京都府木津地区の原風景である里山景観との調和に配慮し、かつ地域の歴史的建造物に倣って、実験棟、研究棟、管理棟の3つに分割してこれらを渡り廊下で繋ぐことでL型の研究棟・管理棟と実験棟とからなる伽藍配置を思わせる建屋配置計画とした。

（参照：図3-8）またすべての建屋は平板な屋根を避けて、寄棟、切妻等の勾配のある屋根とし、勾配屋根が連なるおおらかな造形の建屋群配置とした。

このように地域の里山景観に馴染むような敷地内のランドスケープデザインと建屋外観デザイン及び色彩計画する等として周辺地域への威圧感の解消へ向けた防御設計を実践した。（参照：写真3-6、写真3-7）

実験棟は最先端のレーザー実験に対応すべく、微振動対策、クリーンルーム、RI遮蔽などの高い機能性を備えた施設として、主実験室を中心に配置して、その周囲に小実験室および設備機械室を計画した。さらに主実験室部分は、周囲の躯体と構造的に縁を切った入れ子構造として、防振性能とクリーン度を確保する防御設計をした。（参照：図3-10、図3-11）。

一方の研究棟・管理棟は居室としての快適性を重視し、屋根は米松の大断面集成材を用いた木造架構とした。さらに研究棟・管理棟内部でこの木造屋根架構を一部現して住宅的スケールで暖かみのあるインテリアデザインとした。また研究個室に面してオープンスペースを設けて、研究者同士のインフォーマルな、コミュニケーションを生み出す空間構成とした。

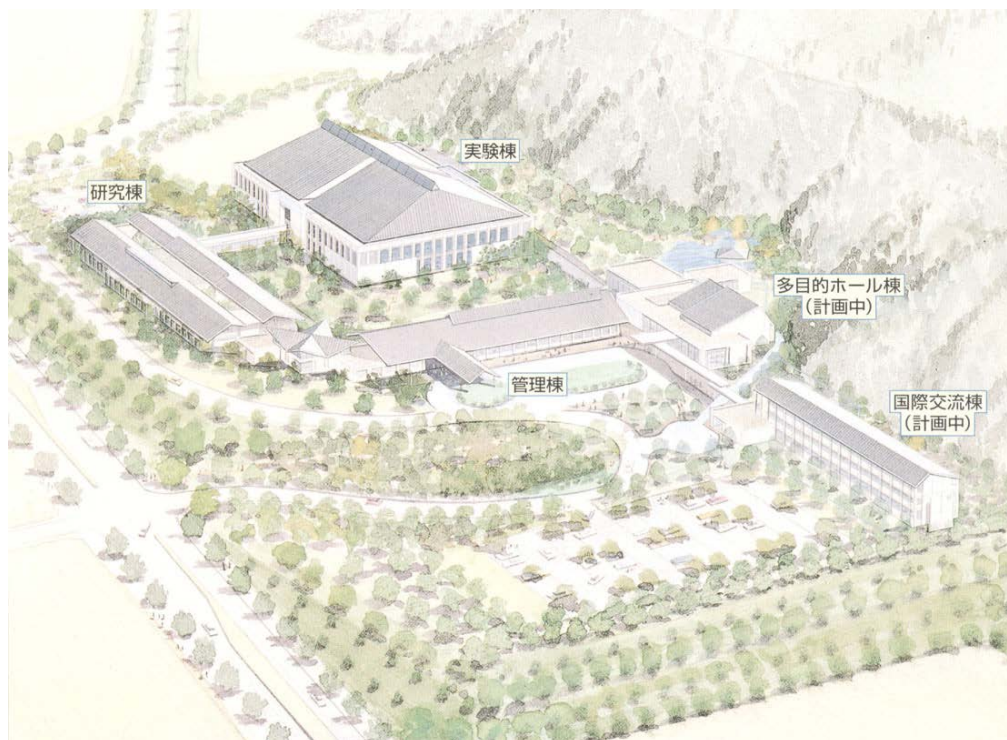


図 3 - 8 関西光科学研究所鳥瞰パース [資料提供 ; 量子科学技術研究開発機構]

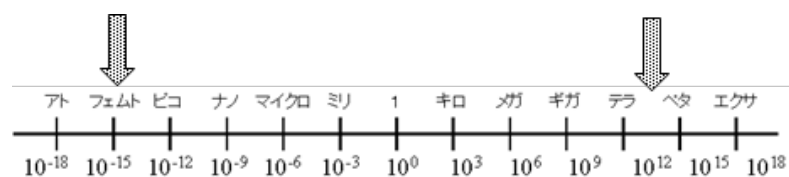


図 3 - 9 関西光科学研究所の実験で扱う桁数

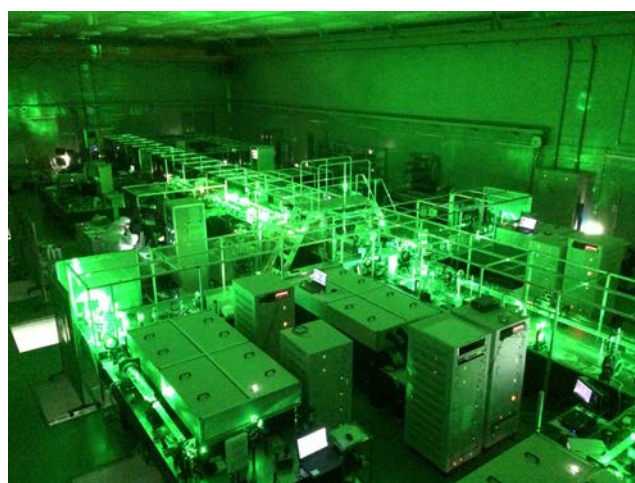


写真 3 - 5 関西光科学研究所 テーブルトップサイエンス [写真提供 ; 量子科学技術研究開発機構]





写真 3 - 6 関西光科学研究所全景 [写真提供；量子科学技術研究開発機構]



写真 3 - 7 関西光科学研究所アプローチ [写真提供；量子科学技術研究開発機構]

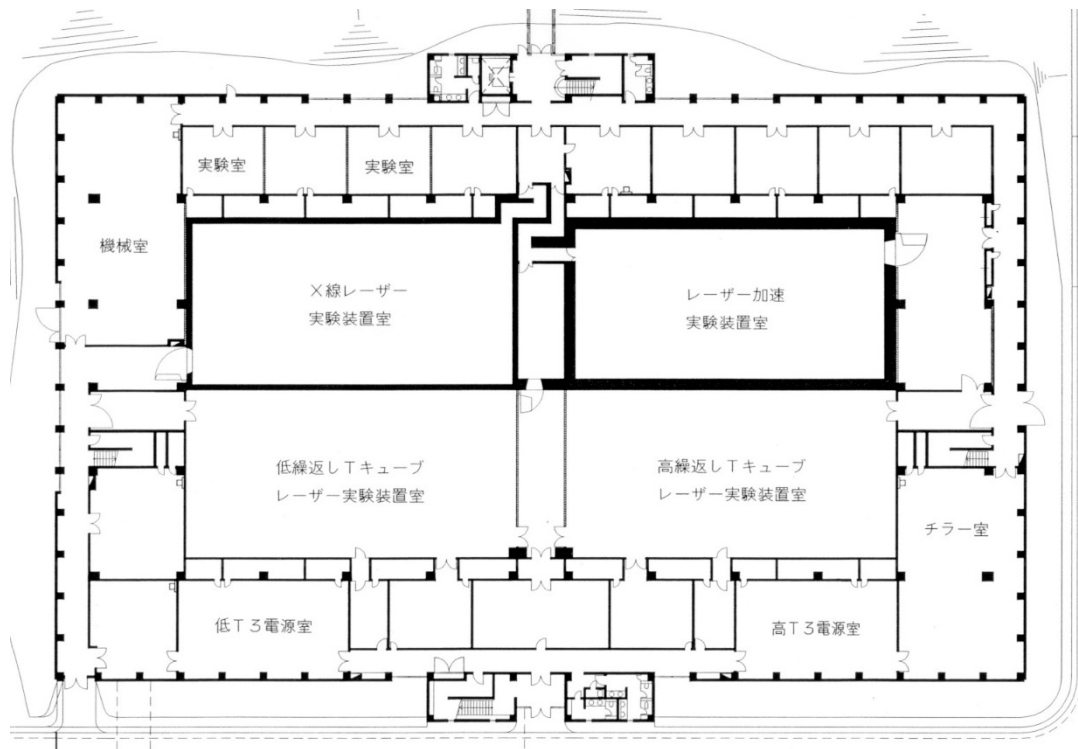


図3-10 関西光科学研究所1階平面図

[資料提供；量子科学技術研究開発機構]

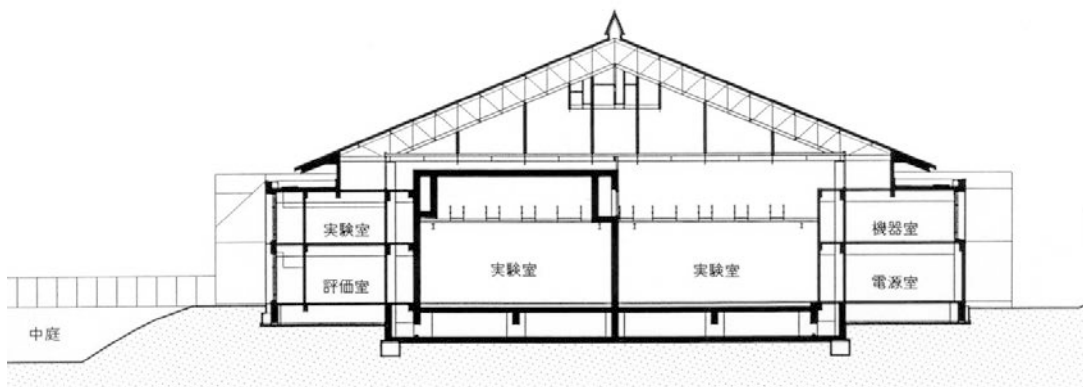


図3-11 関西光科学研究所断面図

[資料提供；量子科学技術研究開発機構]

## 第4章 将来へ向けて自由度の高い建築計画手法と実践例

本章では企業の設備投資リスクマネジメントのために将来へ向けた短期的な市場要求に  
応え得る「攻めと守り」の設計手法としての増築計画における自由度の高い建築・配置計画  
手法の構築について述べる。第3章は物理的かつ即時的な建築計画としての防御設計に関  
する研究であるのに対して、第4章は建築計画概念的かつ時間軸をもつ将来計画としての  
防御設計の研究である。大規模な生産施設の増築を考慮した建築設計手法を網羅的に分析  
し、将来の増築計画を立案する上で有効な計画手法を取りまとめる。一方では将来計画では  
不確定な要素が少なくなく、不適切な設備投資は企業の命運をも左右しかねない。そこで将  
来に向けて極めて柔軟性の高い生産施設配置計画として連棟形式による工場建屋配置計画  
を開発研究する。さらに企業グループ専用工業団地計画を提案し実践した研究成果を述べ  
る。同様な視点からジェネリック医薬品製造工場におけるクラスター型工程配列を開発研  
究した。別途第5章で詳述する。

### 4-1 大規模な生産施設の増築を考慮した建築計画手法<sup>2.5)</sup>と実践例(その4)

#### 4-1-1 増築を考慮した建築計画手法

現在、社会情勢の変化によって、特にかつての重厚長大産業の時代から多品種少量生産に  
特徴付けられる小回りの良さと柔軟性を重視する時代へと急速に移行しており、建築主の  
生産施設建設計画への取り組み姿勢もより慎重なものへと変化している。建築設計者は発  
注者である建築主の意向を汲みつつ最良な提案をすべきであることは生産施設の設計にお  
いても同様であるが、新規敷地における比較的大規模な生産施設建設計画では、計画時点の  
合理性に加えて将来にわたり建築主にとって優位性が持続する計画とする必要があり、建  
築設計者はその根拠を客観的かつ詳細に説明する責任がある。新規敷地での生産施設建設  
計画は建築主にとってそれほど頻繁に発生するものではなく、建築主側のプロジェクトマ  
ネージャにとっては初めてという場合もめずらしくない。プロジェクトマネージャがそれ  
までの限られた経験から短期的な視点で社内討議をまとめ上げてきたということもあり得  
る。一方、建築設計者にはいろいろな製造分野で各種生産施設を手掛けてきた幅広い実績と  
設計経験があり、建築主の提示した原案を超える提案を積極的に行うことのできる立場に  
ある。それでは新規敷地で大規模な生産施設建設計画において建築設計者はどのような設  
計手法に基づいて最良な設計提案をすべきであろうか。本節はこのような視点から筆者ら  
がこれまで手掛けてきた増築を伴う大規模な生産施設プロジェクトを通じて得られた設計  
経験をもとに特に生産施設建設計画で重要となるマスタープランと増築計画の考え方等を  
中心にこの種の生産施設に対する基本的な計画手法として取りまとめたものである。その  
研究目的はますます複雑化す高度化する生産施設設計への要求に対して十分応えうるこれ  
までの実績を生かした合理的な設計手法を求めることにある。理論的展開というより個別

に計画されてきた多数の生産施設の実践的経験により積み上げた研究である。研究対象とした生産施設は加工組立包装等の工場で、数期に分けて建設される比較的敷地規模の大きな生産施設を意味する。

### (1) 既往の研究

工場計画について建築全般にわたる研究<sup>26)、28)、30)、34)</sup>は多く、事例をもとにした設計上考慮すべき要素、設計手順等が各種提示されている。また工業分野別に工場設計事例の具体的な概略設計図を示して設計意図を解説した文献<sup>29)、32)、33)、35)、36)、37)</sup>も多いが、各種事例のもととなる基本的な設計手法まで研究したものは少ない。また文献<sup>32)</sup>では管理、生産、厚生、研修の4つのゾーニング計画を6種類示し、比較評価している。ユーティリティゾーンを組み込んだゾーニング計画ではない。

### (2) 研究の方法

マスタープラン、工場棟、ユーティリティ施設、工場棟内部の生産プロセスラインレイアウトの4つの視点から増築計画手法を研究する。ここでユーティリティ施設とは水(井水、上水、純水等)、熱源(蒸気、冷却水、冷水、温水等)、動力(電気、真空、圧空等)、ガス(LNG、バルクガス、特殊ガス等)、薬液(酸、アルカリ等)等の供給元となる施設で、ユーティリティ供給施設を介して工場棟、事務管理棟等へ供給される。これまでの生産施設設計の実践的経験から増築を伴う比較的大規模な生産施設のマスタープランを工場棟、事務管理棟、ユーティリティ施設という3つの基本的な施設要素により単純化された増築計画の分類によって検討し、さらにマスタープランに密接に関連するユーティリティ施設と工場棟、事務厚生棟をつなぐユーティリティ供給施設、また工場棟内部の生産プロセスラインレイアウトを網羅的に取り上げ、マスタープランに整合するそれぞれの計画手法を研究する。マスタープランについては公開された生産施設全体配置計画の実例をもとにその類型化の検証を行う。

### (3) マスタープランの計画手法

比較的大規模な生産施設では対象生産品の生産性向上とともに将来の生産品の仕様変更、あるいは生産品自体の変更にも十分追随できる配慮が求められ、事業展開の方向性を見据えたマスタープランづくりが先ず重要である。その基本は、1. 単純なゾーニング計画、2. 明確な正面性と機能軸の設定、3. 交差をつくらずにできる限り独立した物・人・車の動線計画の大きく3つである。これらの基本的な計画について計画敷地の形状、当面の事業所の形態、経営戦略に基づく将来の事業所の展開、とくに工場の増築計画等を考慮して検討することとなる。また周辺環境への調和、環境にやさしい建築、CI(Corporate Identity)としての企業イメージづくり、あるいは見せる工場、開かれた工場との視点も求められる。生産施設のマスタープランを考える上で必要な基本的な施設要素は、工場棟、事務厚生棟、ユーティ

リティ施設の3つであり、これらの施設要素のゾーニング計画、増築計画及びそれらを結ぶ動線計画を単純で明快なものとしなければならない。

ゾーニング計画上、事務厚生棟はCIを形成する上で格好の建物群であり、対象敷地の前面道路に対して企業の顔、敷地の正面性を形づくる重要な要素となる。一方、工場棟は原料資材製品搬送ルートと入出荷場との位置関係、ユーティリティ施設は工場棟への供給ルートの長さ、共用施設化等から相互の配置関係から決まる。また、ユーティリティ施設は機能上外部が汚れやすいため敷地外周から見えなくするかどうかで配置がきまる。

事務厚生棟を前面道路の正面に配置することを前提としたマスタープランの基本形は、**図4-1(1)**、**図4-1(2)**に示す配置計画Z1から配置計画Z4の4つに分類できる。各施設要素として工場棟を工場棟(1期、2期)に、ユーティリティ施設をユーティリティ施設(1期、2期)に例示的に配置した。さらに棟数の多い場合も同様なプランが計画可能である。

工場棟と事務厚生棟の相互関係では、工場棟を事務厚生棟の背後に設ける案と事務厚生棟につづく形で工場棟群を前面道路と平行に配置する案の2つの考え方がある。これは敷地境界から工場棟を積極的に見せるか、ある程度視線を遮断するかによる違いである。配置計画Z4は前者の場合であり、ユーティリティ施設は工場エリアの背後に設けられる。後者の場合、工場棟とユーティリティ施設の相互関係により3つに分けられる。あくまで前面道路に対して敷地裏側に配置すればよいか、ユーティリティ施設が四周の敷地境界から遮蔽されて全く見えない位置に配置するかの違いである。前者としてユーティリティ施設を隣接する工場2棟に対して共用エリアと位置づけ工場2棟の裏側に置く配置計画Z1、工場2棟を挟む形でユーティリティエリアを敷地側面に別個に設ける配置計画Z2がある。一方、ユーティリティ施設を四周の敷地境界から全く見えない位置に配置する案が配置計画Z3で、ユーティリティ施設は共用エリアとして工場棟に挟まれている。建築主の重要視する配置上の設計基本要件が何かによって案が選択される。

マスタープランに付随する計画上の配慮事項がいくつかある。前面道路からの出入り口設置計画、構内動線計画である。前面道路からの出入り口計画については出入り口箇所数、位置が前面道路での交通安全上の理由から制約を受ける場合があるが、出入り口の箇所数は、万一の出入り口付近における事故発生の場合に別の出入り口が使えるよう最低2ヶ所、できれば3ヶ所用意する。前面道路の交通量が多い場合は、むしろ前面道路からではなく、側道から出入りとして、渋滞に巻き込まれず、交通事故を未然に防ぐよう配慮すべきである。さらに構内への進入方向を制約する中央分離帯での右折用切り欠き設置の可否、近傍の交差点からの離隔距離の確保、正門前の歩道の切り下げ幅等の検討が必要になる。出入り口は

原則として物流車両用と従業員用を別個に設け、大型車両と通勤用乗用車、自転車、バイク等の動線を明確に分離して交差を回避することが望ましい。物流車両用は生産に必要な原材料、製品等の搬出入に専ら使われ、従業員用出入り口は従業員の出入りのほか外来者及び乗用車の出入り等多目的に利用される。通常朝夕の従業員出退勤時に出入りが頻繁となる時間帯以外は閉鎖され、子扉の通用口を利用するのが一般的である。守衛所は人件費の問題からできるだけ個数を少なくするか、無人の運用もめずらしくない。従業員の入退出のように出入りが定期的であれば、その時間帯のみ守衛が立って監視することで対応できる。物流車両用出入り口も無人として自動ゲートを採用する場合もある。いずれにしても費用対効果の視点からどの計画とするか選択される。図4-2(1)から図4-2(4)に各マスタープランに構内出入り口2ヶ所の場合の標準的な構内動線およびユーティリティ供給ルートを示した。構内各種動線は原則として明確に分離され、動線交差をできるだけ避けられる計画としており、従業員の動線と物流動線は基本的に別ルートとし、また工場への従業員の動線は物流動線、ユーティリティの供給動線と反対側の位置で接続している。

#### (4) マスタープランの分類の検証

公開された生産施設全体配置計画の実例をもとにマスタープランの分類の検証を行う。参考文献<sup>32)</sup>、<sup>34)</sup>、<sup>36)</sup>に示された76例を配置計画Z1からZ4に分類した結果を表4-1及び図4-3に示す。ここで、全事例76例のうち35例が増築のある事例であった。残りの41例は1期完結型であり、事務厚生棟、工場棟、ユーティリティ施設の3つの施設要素が1つの建屋に統合されたものもあるが、各種施設要素の相互配置が図4-1のプランに類似しているかどうかにより分類した。分類結果は配置計画Z1、Z4が多く、両合計で全体の約90%を占めている。配置計画Z2、配置計画Z3は数例であった。

今回取り上げた全事例が図4-1に示す4つのマスタープランに分類できたことから本提案がマスタープランの1つの計画手法として有効であることが分かった。

#### (5) ユーティリティ施設の増築計画手法

ユーティリティ施設の計画上判断すべき事項がいくつかある。予め将来の生産能力増強のためのユーティリティ設備の増設対応を行うかどうか、あるいは当面の必要量のみ留めるか、また、万一のトラブル発生に対処できるよう予備的措置(冗長化)を講ずるかどうか、ユーティリティ設備機器の共用化・相互補完、例えばヘッダーを設けて複数機を台数制御するか、あるいは100%1台を50%2台としておくか等である。一方ライフサイクルコスト、CO<sub>2</sub>削減の観点から初期投資のほか、運用費として運転管理費、燃料費等の削減、省エネルギー対策、コージェネレーションの採用等も重要な選択肢となる。

中央集約型と各期分散型のユーティリティ施設の増築の考え方を図4-4に示す。ユー

ユーティリティ配置計画U1とユーティリティ配置計画U2が期毎に分散する型で、ユーティリティ配置計画U3からユーティリティ配置計画U6は中央集約型の基本形である。ユーティリティ配置計画U7とユーティリティ配置計画U8は中央集約型と分散型の折衷型配置でサブステーションを持つユーティリティ供給方式を採用しており、対象となるユーティリティには電気（受変電設備とサブ変電設備）、純水（一次純水、二次純水）、排水（排水一次貯留槽、排水処理施設）等がある。

工場棟の増築計画が明確で、生産品に大きく変化のない場合はユーティリティ設備を一ヶ所に集約する中央集約型のユーティリティ配置計画U4が一般的である。ユーティリティ設備を集約させることにより各設備の余剰能力を有効活用でき、冗長化できることから前述の万一のトラブル発生に際しても対処し易い。また維持管理要員も集約でき省人化が図れる等が主な理由である。図4-1に示したマスタープランに整合するユーティリティ施設の増築計画手法は中央集約型である。しかし、現在のようにめまぐるしく市場が変動する状況にあっては、生産品自体が変化し、必ずしも想定した通りに期毎に工場を増築するとは限らず、むしろ先行投資を極力抑えて必要の都度最小限の設備投資に留める方が合理的であるとして、期毎に別個のユーティリティ設備を設置するユーティリティ配置計画U1を採用する傾向にあると言える。これは工場棟とユーティリティ施設が接着したものと言え、事務厚生棟、工場棟、ユーティリティ施設の相互位置関係が図4-1のマスタープランに整合するものである。例えば、ユーティリティ配置計画U1は配置計画Z1に、ユーティリティ配置計画U2は配置計画Z2に、ユーティリティ配置計画U3は配置計画Z3にそれぞれ対応する。

中央集約型ユーティリティ施設の場合、そこから各工場エリアあるいは事務管理エリアへ供給するユーティリティ配線配管の支持架構には大きく2つの形式がある。パイプスタンション（架空配管ラック）方式と地下トレンチ（カルバート）方式である。図4-5に基本形を示す。パイプスタンション型式には架空型式の他、門型、建屋に付帯する半門型がある。また地上から50cm程浮かせた位置で地上を這わせる方式もある。通常は溶融亜鉛メッキ鋼材による鉄骨構造が用いられる。架空型式では配線配管の維持管理のため通常メンテナンス歩廊が中央に設けられる。地下トレンチ形式はユーティリティの内容によりその大きさは側溝に近いものから、地下鉄トンネル規模のものまでである。構造は水密性の高いコンクリート造か、PCカルバートが一般的である。ユーティリティ供給計画では屋外から工場棟内に入っても連続した考え方が求められる。パイプスタンションの場合はそのまま工場棟内の搬送通路や廊下の天井に取りつく懸垂型パイプラックとなり、また地下トレンチでは工場棟下部の二重スラブの一部として連続する設計がなされる。この二重スラブは環境対策上のモニタリングスペースとなり、さらにプロセス配管の分岐ルートとしても利用される。

ユーティリティの種類、量、配管の径、本数という設計基本要件のほか、建設コスト、維持管理の必要性等から選択される。パイプスタンション方式では基本的に配管からの漏洩は即環境への漏洩となり得るのに比べて、地下トレンチ方式ではトレンチ内で間接的に環境への漏洩をくい止めることができる。例えば、メッキ工程のある工場で重金属を含む生産プロセスユーティリティを中央集約型ユーティリティ施設から供給する場合、供給過程での万一の漏洩による土壌、地下水への汚染が問題となるが、地下トレンチ方式では配管から万一漏洩した場合でも直接地面あるいは地中水へ侵入しないよう地下トレンチ自体が受け皿として機能する。また地下トレンチ内の中央メンテナンス歩廊から日常点検により漏洩の有無を目視確認できるほか、漏洩センサーによる警報システム等の採用により予防保全とともに事故時の緊急対応が可能である。パイプスタンション方式でも万一の漏洩に備えて漏洩液を受ける皿（ドリフトレイ）が設置されるのが一般的であるが、このドリフトレイがあっても降雨時に雨水がドリフトレイ上の漏洩液を洗い流し、その汚染された雨水が一般の雨水排水ルートを通して生活圏に及ぶ危険性がある。さらにパイプスタンション方式では漏洩箇所に漏洩物が付着して変色する等企业イメージからも好ましくない。このようなケースでは基本的に地下トレンチ方式が採用される。したがってパイプスタンション方式は配管から万一の漏洩があっても環境問題の生じる恐れのないユーティリティの種類に限って用いることが基本である。もっとも周辺環境へ漏洩していないことが外部から目視で確認できるよう、例えば放射性物質を内蔵するアクティブ配管の搬送ルートのように、四周遮蔽壁で密閉した高架カルバート（鉄筋コンクリート造カルバート）方式を採用している事例もある。

地下トレンチを計画する上で配慮すべき点が2つある。1つは構内雨水排水ルートとの交差である。トレンチ上部に雨水排水ルートを確認できるだけの覆土のある場合は問題ないが、コスト面で一般にはそれほど深くできないため、雨水排水ルートが地下トレンチで分断され、ルート計画調整が必要となる。もう一つは杭地業が必要なほど軟弱な地盤の場合、地下トレンチは杭地業により沈下しないように設計されるが、構内道路は地盤とともに沈下するためである。地下トレンチと構内道路が交差するところで不同沈下による段差が生じ、車両の通行に支障の出る可能性があることである。このような場合、トレンチ近傍の構内道路下を一定深さまで地盤改良するとともに、段差の生じた場合にすりつけがし易いようにアスファルト舗装とする等の予め段差を想定した設計が求められる。

#### （6）工場棟増築計画手法

工場棟の増築計画上で考慮すべき基本的なファクターは3つある。生産プロセスラインレイアウト、原材料、製品の入出荷場の位置、各期生産プロセスラインレイアウトと入出荷場とを接続する搬送動線である。生産プロセスラインレイアウトが工場計画を支配する重



要な要素であることから生産プロセスラインレイアウトの増設を中心に工場棟の増築計画手法を研究する。

生産プロセスラインレイアウトの基本形は一方通行型配置とUターン型配置の2通りある。図4-6に生産プロセスの基本生産ラインレイアウトを、図4-7に増築の基本形を示す。一方通行型では生産プロセスラインレイアウトの始端側に入荷場、終端側に出荷場が直線的に設けられる（プロセスラインLC1）。そのため建物は比較的細長くなるが、生産プロセスラインレイアウトが単純で分かり易い配置となる。しかし、入荷場と出荷場が別個独立の位置にあることから入出荷作業人員が個々に必要となり、両スペースの共用が難しい。Uターン型では生産プロセスフローをUの字に曲げて、始端終端が建物の同じ側になり、入荷場と出荷場を隣接して配置できる（プロセスラインUC1）。建屋は正方形に近くなるので、いわゆる地形がよい。また入出荷スペースを一体として利用できることから省人化、共用化、省スペース化が図れる。しかし、生産プロセスラインレイアウトをU字型とするため、横持ちの搬送装置あるいはプロセスを曲げるための付加的な装置が必要となる。一方通行型かUターン型かの選択は敷地形状、ラインの長さ、将来の増築予定等総合的に判断する必要があるが、プロセスラインレイアウトの長さが数百mもある場合は一方通行では建物が細長くなり、敷地利用計画上必ずしも合理的にはならない。Uターン型の場合は建物の辺長比をある程度抑えることができる。しかし、工場を接続して増築する場合状況が変わってくる。一方通行型では入荷場と出荷場が1期、2期では同じ側に並ぶため、1期2期間で入荷、出荷の省人化、共用化が図れる（プロセスラインLC2）。一方Uターン型では入荷場、出荷場の一方が並べば他方は別個独立したものになり、また入出荷動線も交錯してしまい、省人化、共用化も図れない（プロセスラインUC2A、プロセスラインUC2B）。両配置計画は1期、2期ともに合理的なものではない。1期2期あるいはそれ以降の増築全般にわたって合理的なものとして両配置計画の折衷的な案がある。Uターン型は一方通行型のように単純な繰り返しは難しいが建屋の同じ側に生産プロセスフローの始端終端が来ることから、その期毎の生産プロセスフローの始端終端を横断的な搬送動線で接続し、その搬送動線の端部に入出荷場を配置する案である（プロセスラインUC3A）。この横断的な搬送動線にコンベヤラインやAGV（自走台車）を用いることで搬送効率と省人化が図れる。また、この折衷案をベースに、例えば出荷場がそれほど重装備とならない場合では期毎に出荷場を移設して、入荷場から出荷場への横断的な搬送動線により各期Uターン型配置を繰り返すこともできる（プロセスラインUC3B）。

生産プロセスラインレイアウトの中間で資材が必要となる場合、例えば組立工場のような場合では入荷場の他に工程毎にパーツ入荷場があり、図4-8に示すように一方通行型配置ではプロセスラインLCS1のように側面より、Uターン型ではプロセスラインUCS1のように入荷場側と反対側からパーツ入荷が行われる。

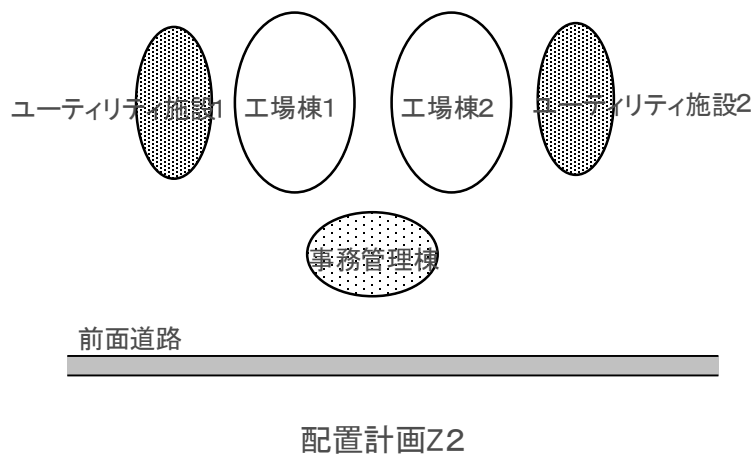
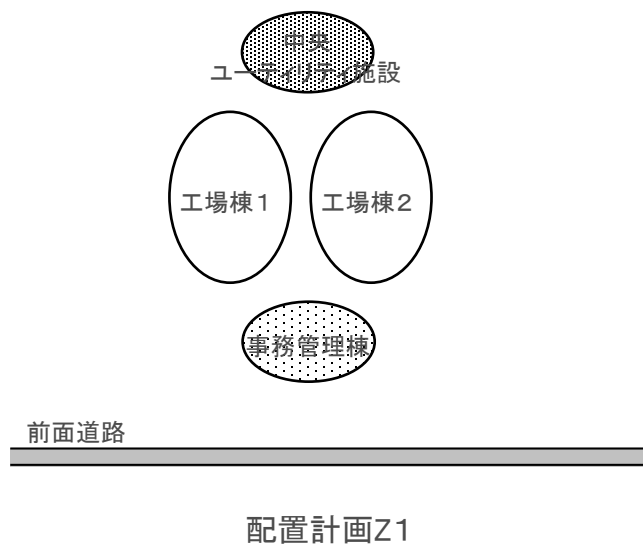


図4-1 (1) 前面道路と主要建屋の敷地配置計画分類 (1)

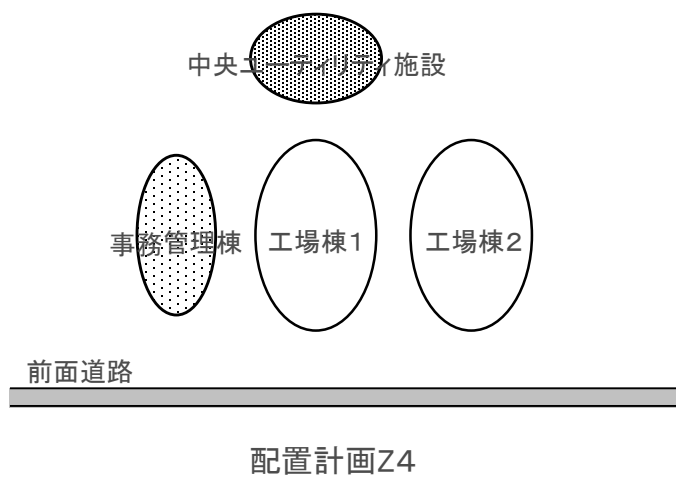
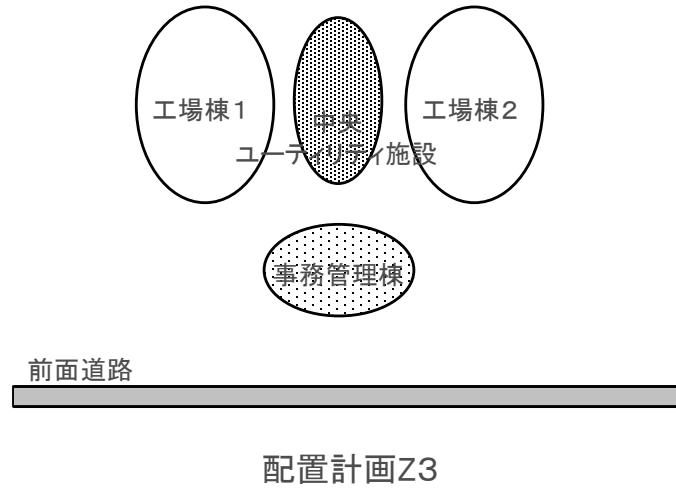


図4-1(2) 前面道路と主要建屋の敷地配置計画分類(2)

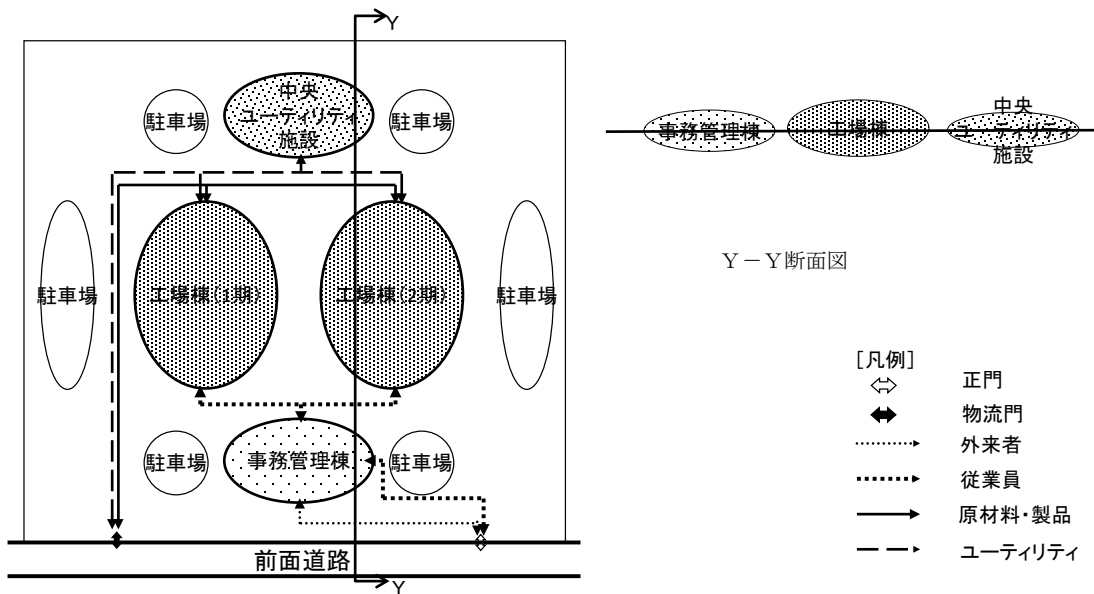


図4-2(1) 配置計画Z1 動線図

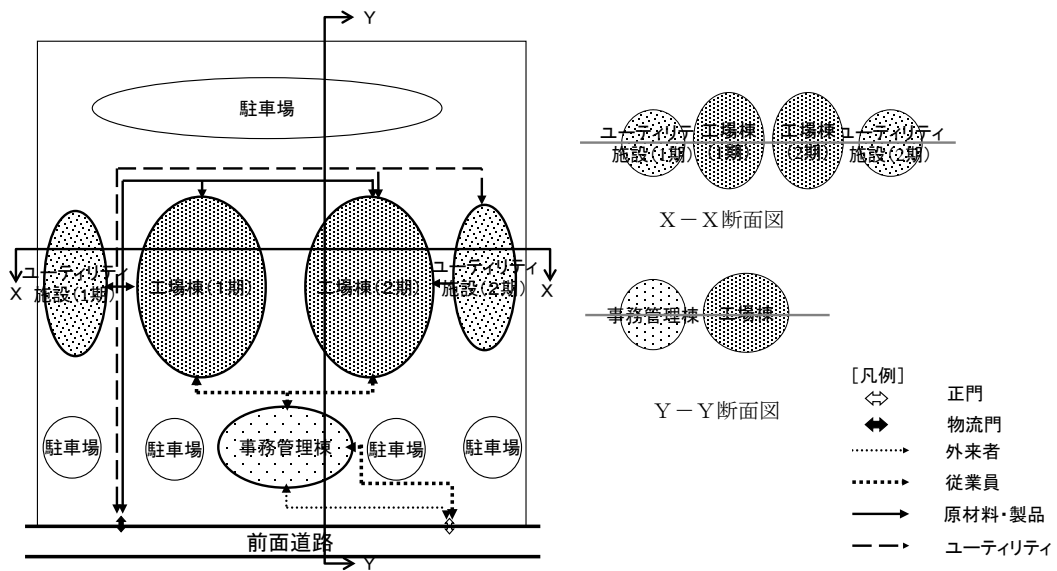


図4-2(2) 配置計画Z2 動線図

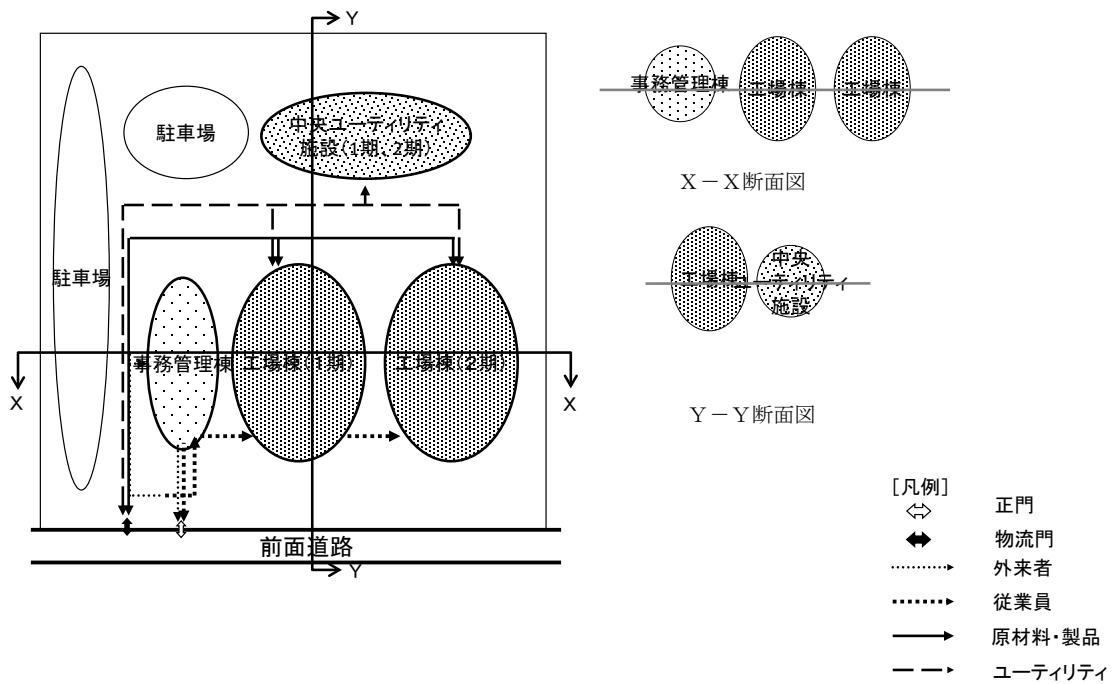
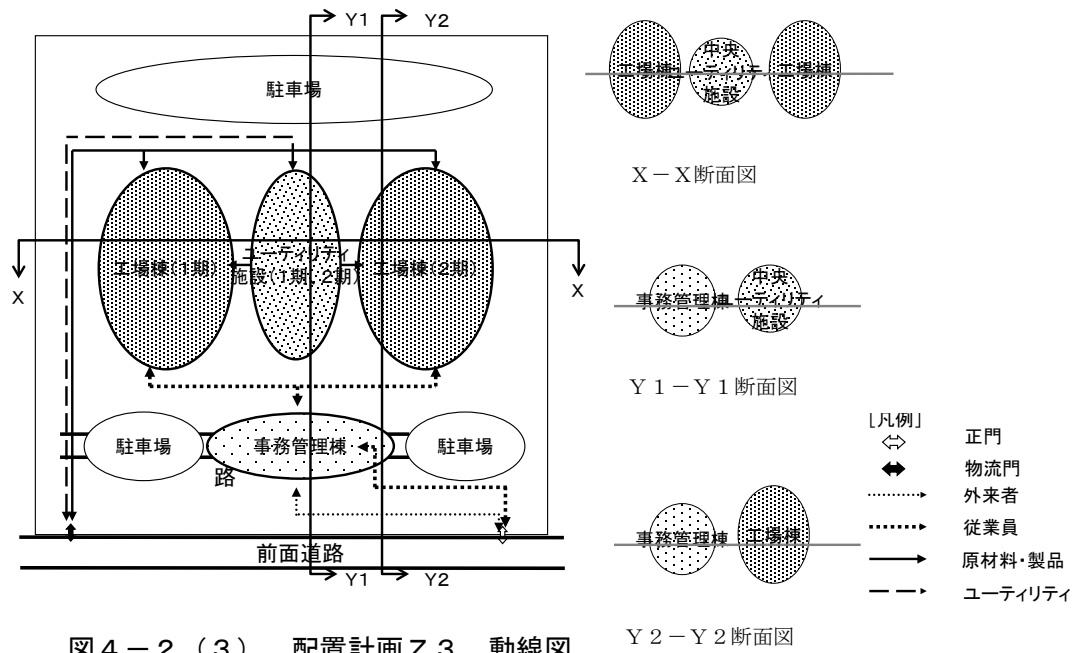
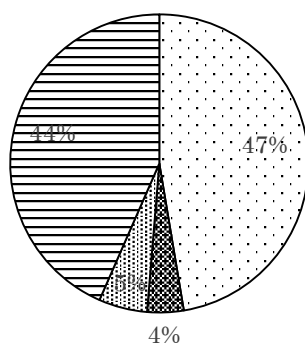
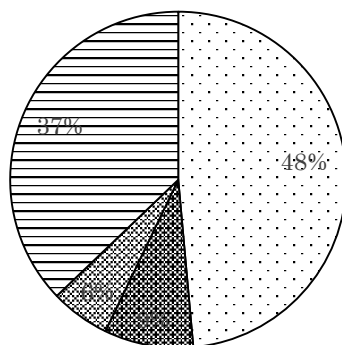


表4-1 マスタープランの分類結果一覧 [参考文献32)、36)、37)の事例より]

分類	配置計画Z1		配置計画Z2		配置計画Z3		配置計画Z4		合計
	あり	なし	あり	なし	あり	なし	あり	なし	
参考文献7)	5	7	0	0	1	1	6	13	33
参考文献11)	8	3	2	0	1	1	3	3	21
参考文献12)	4	9	1	0	0	0	4	4	22
小計	17	19	3	0	2	2	13	20	76
中計	36		3		4		33		
合計	増築あり 35例				1期完結型 41例				

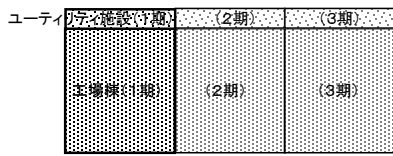


全事例 76例

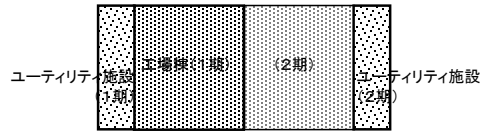


増築のある事例 [35例]

図4-3 マスタープランの分類結果グラフ [参考文献32)、36)、37)より]

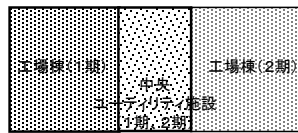


ユーティリティ配置計画 U1

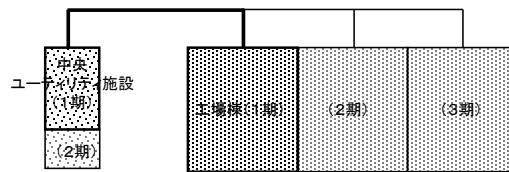


ユーティリティ配置計画 U2

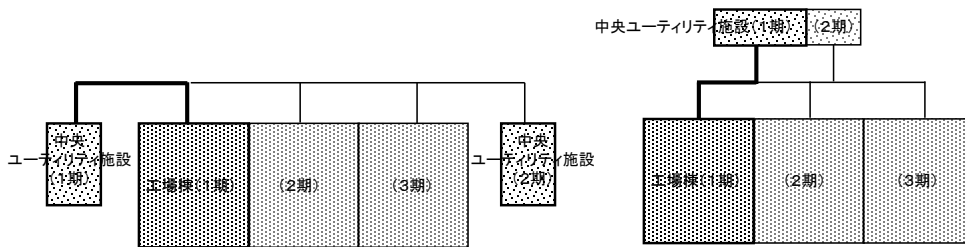
分散型配置



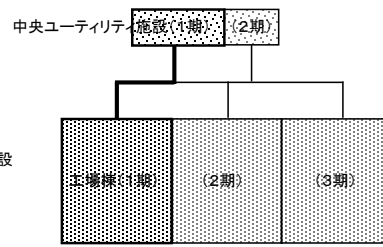
ユーティリティ配置計画 U3



ユーティリティ配置計画 U4

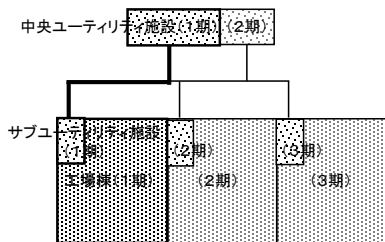


ユーティリティ配置計画 U5

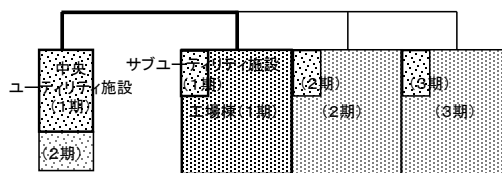


ユーティリティ配置計画 U6

中央集約型配置



ユーティリティ配置計画 U7



ユーティリティ配置計画 U8

折衷型配置

図 4-4 ユーティリティ施設配置と増築の設計手法

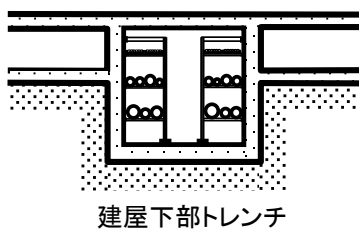
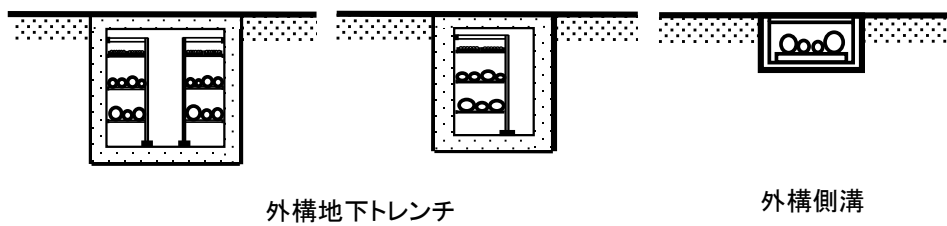
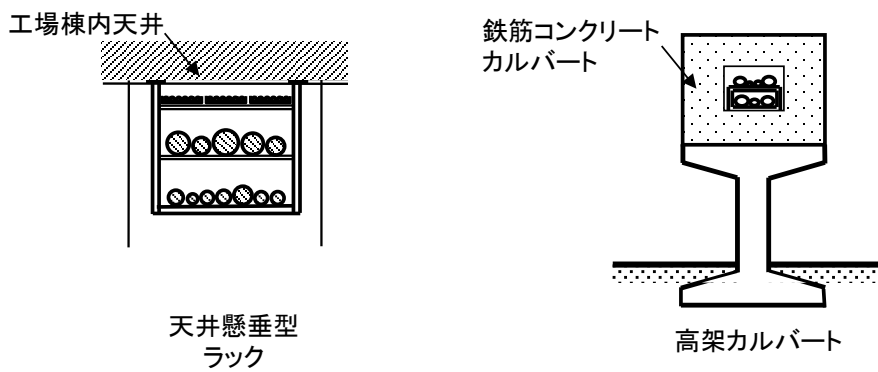
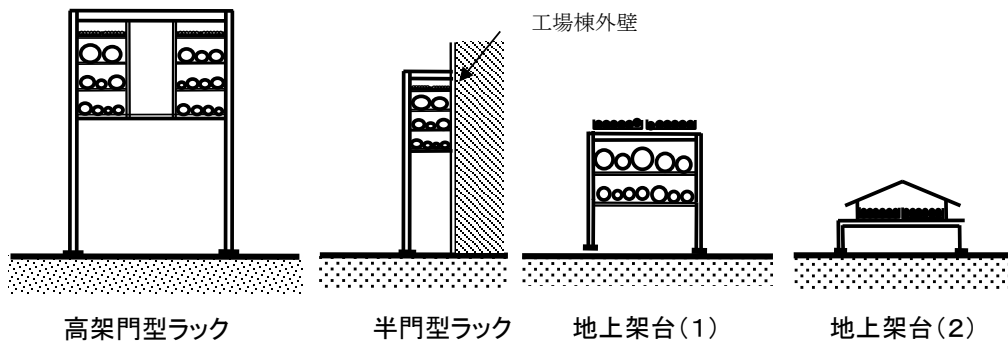


図4-5 パイプスタクション方式と地下トレンチ方式



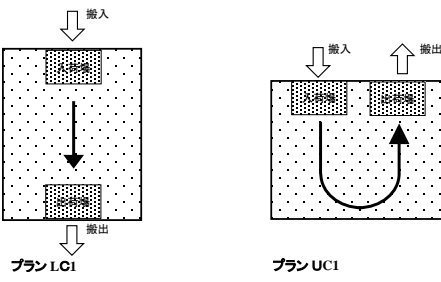


図 4-6 プロセスライン基本形

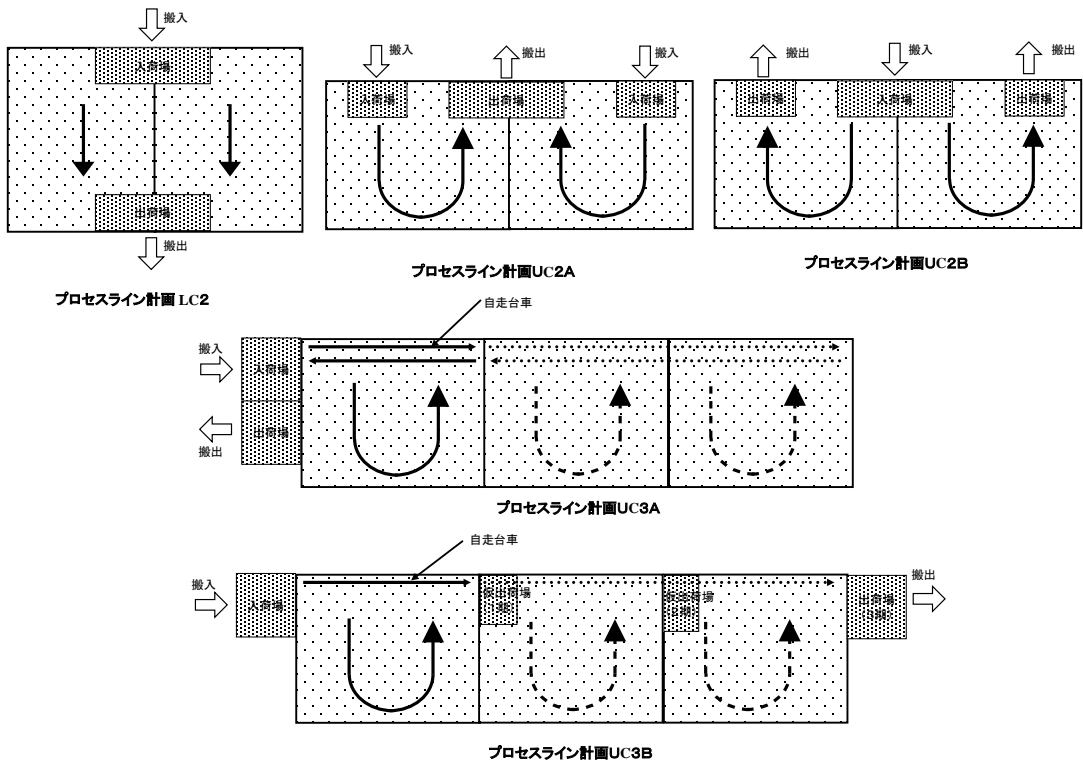


図 4-7 生産プロセスラインと工場増築計画手法

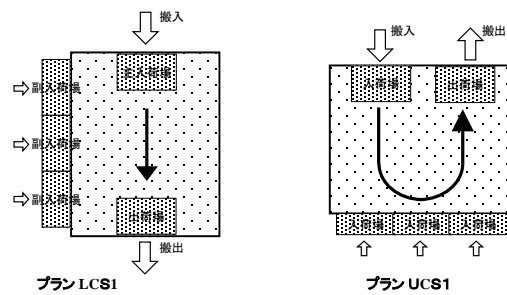


図 4-8 副入荷場のあるプロセスライン基本形

#### 4-1-2 実践例（その4）

前節を受けてプロセスライン計画と各期増設計画のあり方として代表的な2つの実践例を取り上げる。

##### 実践例4-1 HGST(Thailand) IP304 ハード・ディスク・ドライブ 工場

バンコクから北東へ車で3時間余りの国道304号に隣接するIP304工業団地にタイIBMが建設したコンピュータに内蔵されるハード・ディスク・ドライブHDDの組立工場である。1000人規模の女性従業員が同時にクリーンルームに入って組立作業を行う。（参照：写真4-1）建屋配置計画分類では典型的な配置計画Z1である（参照：図4-9）。

当時タイIBMはアルミ製基板のHDDを製造していたが、他社が別の基板材料のHDDを開発していて、市場がいつかその基板へ移行するおそれがあることから、一機に大規模の工場を建設するのではなく、市場の動向に注視しながら工場を増設する考えを持っていた。

そこで長方形の敷地に1期目の工場をどう建てるか先ず議論された。増設が予定通り進む場合は2期完成後も生産性の高いプロセスラインとしたい。その場合は2期目の用地は細長い長方形として残る。一方、万一市場がアルミ基板のHDDから別の基板へ移行した場合には2期建設予定地は別用途の工場建設用地として利用することになる。その可能性を考えると2期目の用地はできればどうにでも使える正方形に残したい。2期目の用地を正方形に残すか、長方形に残すべきかのジレンマである。

議論は図4-6に示した2種類の基本的なプロセスラインに関するものである。この2種類のラインを増設する場合のバリエーションは図4-7の通りである。図4-10に再掲する。平行なプロセスラインの場合は、1期、2期ともに搬入側も搬出側も同じ側となり、生産プロセスも同種平行となることから2期完成時でも生産性の高いプロセスレイアウトとなる。しかしこの場合は1期完成後に残る用地は細長い長方形で、用地利用に制約が生じてしまう。一方Uターンラインの場合は搬入側か搬出側のどちらかが1期と2期とで離れる配置となる、またプロセスも線対称配置となってしまう。生産性の高いプロセスレイアウトとは言い難い。ただ1期完成後に残る用地は正方形で敷地利用し易い。議論の末、プロセスラインを1期、2期ともに平行配置として2期建設用地を長方形に残す建屋配置案が採用された。

ユーティリティ施設は増築を考慮した中央集約型U6である。（参照：図4-11）ユーティリティ施設と工場棟は最短で接続して、工場内へは工場内通路動線の天井部に屋内懸垂型のラックを設けて屋内ルートでユーティリティを供給する計画とした。なお、IBMは環境

対策が徹底していて、敷地購入前から地下水のモニタリング井戸を設置して定期的な観測を継続していた。自らの工場の問題ではなく、地下水脈を通して、工業団地内あるいは周辺地域からの当該敷地へ土壌汚染が波及することの無いよう予防保全するためであった。さらに米国 IBM のファシリティマネージャからはタイが平坦な国土であり、洪水の危険性が高いことから当該敷地での洪水リスクを検討するよう指示があった。地形測量図により当該敷地は周辺地域より 3~4m 地盤レベルが高いことが分かり、別途洪水対策を講じる必要はないこととなった。

建築計画上、事務厚生棟も 2 期に増築できるよう工場の増築軸で線対称となる計画とした。できるだけシンプルな意匠と彩色計画として単純化を図った。また、全面道路に面する敷地境界フェンスはその地区のデザインを踏襲し、地域と馴染むよう配慮した。またプラチンブリは白象が発見されたことで有名で、それにちなんで階段の上り鼻の支柱には象足のデザインをあしらった。

結果的には 1 期建設工事は 1997 年 2 月に着工して、1997 年 10 月に竣工したが、翌年の 1998 年 8 月には 2 期工場建設工事が着工して、1999 年 5 月には完成した。1 期工事着工から 2 年 3 か月余りで 2 期工事も竣工する急ピッチの設備投資であった。引き続き市場ではアルミ基板の HDD が主流であり、振り返ってみるに 1 期で直線形のプロセスラインを採用した判断は適切であったと言ってよいのではないかと。



写真 4 - 1 HGST (Thailand) ハード・ディスク・ドライブ工場 (2 期竣工)  
 [写真提供：タイ竹中]

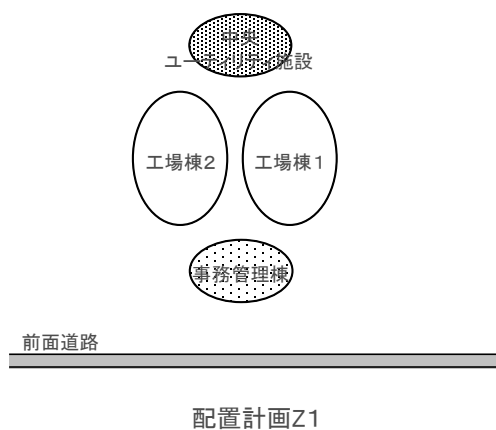


図 4 - 9 建屋配置概念図

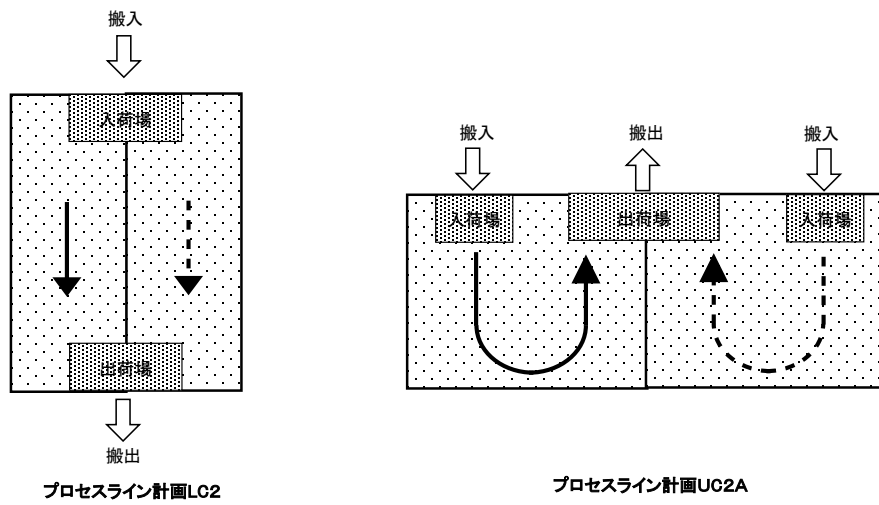


図4-10 増築を考慮したプロセスラインレイアウト

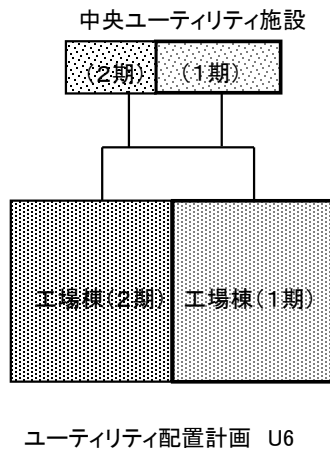


図4-11 ユーティリティ配置計画

## 実践例 4-2 大日本印刷大利根工場

埼玉県大利根市に建設されたフラットディスプレイパネル用部品製造工場である。(参照：写真 4-2)

1期設計開始時はフラットディスプレイパネルが急速に市場を延ばして製造メーカー各社が設備投資計画にしのぎを削っていた。基本設計書の敷地利用計画では工場を3期に分けて増設し、とも平屋建ての建屋配置計画としていた。しかし、施主より1期基礎工事中に2期増築の要請があり、さらに工事中の1期、これから設計を開始する2期ともに2階建てとするよう指示があった。それほどスピードある増産計画が求められる分野であった。すでに基礎工事が進行している1期工場を2階建てに変更するのは現実的に不可能であったため、2期のみ2階建てにすることとなった。1期と2期との境界部分は構造的に縁を切る設計が必要で工夫を要した。1期は1993年1月着工で1994年9月竣工、2期は1994年7月着工で1995年5月に竣工した。ほどなく3期工場を2階建てで建設することとなり、1997年8月着工で1998年8月に竣工した。結果的に1期は平屋、2期3期は2階建ての建屋となり、5年半ほどの間に順次建設した。このように短期的にかつ即応的な増築工事が要求された案件であったが、1980年代から1990年代の生産施設建設工事は一般的にこのような急展開の建設状況であった。

マスタープランは、敷地が4縁とも道路に囲まれていることから基本的に配置計画Z2をベースに策定した。(参照：図4-12) もっとも各期生産品が同じであり、工場棟、事務管理棟、ユーティリティ施設は一方向に増設する計画である。また幹線道路の渋滞を避け、安全な通行となるよう敷地出入り口は幹線道路から外した側道として、工場の正面性は利根川側からの景観として確保することとした。

工場増築計画ではプロセスライン計画として図4-7のUC3Aを採用した。図4-13にUC3Aのプロセスラインを再掲する。原材料・製品搬送動線は各期とも同一線上となり、AGVを使用して自動搬送ラインとした。2期、3期は2階建てであるが、1階、2階間にエレベータを設置して1階、2階ともに同様なAGVによる自動搬送動線が利用できる計画とした。

基本設計書では3期とも平屋であったが2期が2階建てとなったことから、3期も2階建てとなる可能性が高く、資材、完成品ともに保管スペースが不足するおそれがあった。生産エリアが平屋3棟と平屋1棟+2階建て2棟では1.7倍の違いがあり、欠品を出さないためにも保管スペースを十分確保する必要があった。そこで2期増設設計時に敷地利用計画上入出荷場近くに立体自動倉庫を建設する計画を盛り込むこととした。具体的には立体自

動倉庫の建設位置を特定して以降いかなる埋設物もその位置を外すよう徹底することにした。結局 3 期建設と同時にこの立体自動倉庫が建設され、タイムリーな設備投資となった。

(参照：写真 4-2)

ユーティリティ計画は U7 を採用した。(参照：図 4-14) 工場と隣接して順次増築するユーティリティ施設と中央ユーティリティ施設として順次増築する 2 本立ての計画とした。プロセスラインに近い配置が望ましい 2 次側純水製造設備、圧空設備、配電盤等は前者に、集約して一括管理が望ましい受変電設備、排水処理施設、1 次側純水製造施設を後者に計画した。なお、中央ユーティリティ施設と工場は屋内懸垂型パイプスタンションで接続されている。



写真4-2 大日本印刷大利根工場3期完成  
 [写真提供：大日本印刷株式会社]

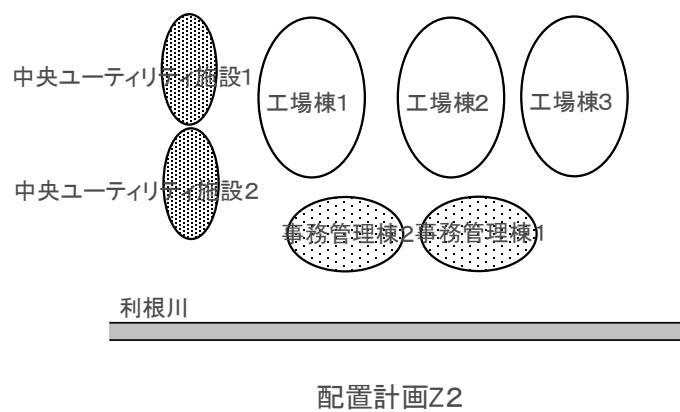
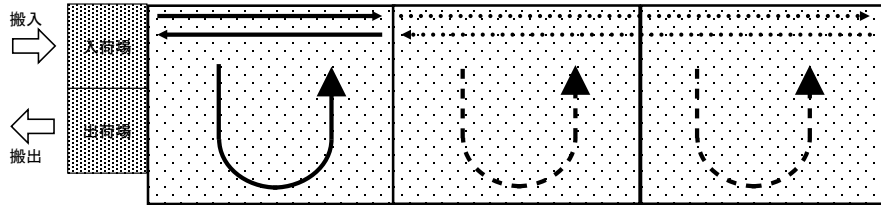


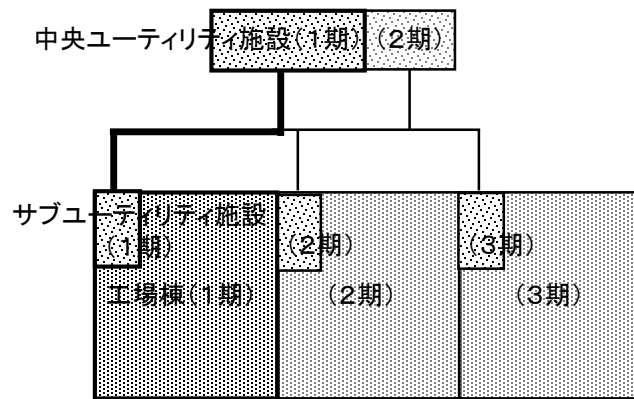
図4-12 建屋配置計画





プロセスライン計画 UC3A

図4-13 増築を考慮したプロセスラインレイアウト



ユーティリティ配置計画 U7

折衷型配置

図4-14 ユーティリティ配置計画

#### 4-2 極めて自由度の高い建築計画手法と実践例（その5）

前節のタイ I B M、大日本印刷大根工場で述べたように生産施設では市場動向に鑑みて短期的な即応性を要する増築工事もめずらしくない。そこに施主が建築設計者に市場に速やかに追従できる自由度の高い建築計画を求める背景があると考えられる。設備投資のリスマネジメントの短期的な計画不備によりたとえば下記のような事象が想定される。

- a. 企業が予期しない設備投資の損失を生じるおそれのあるもの。例えば、二重投資、見通しを誤った性急な設備投資
- b. 企業が市場競争力を喪失するおそれのあるもの。例えば、出遅れあるいは遅延した設備投資

本論文ではこのような事象を回避するための短期的即応性のある設計手法を下記3つの事例について開発研究する。

- 1) 連棟型式による工場建屋配置計画
- 2) 企業グループのための専用工業団地開発
- 3) ジェネリック医薬品製造工場におけるクラスター型工程配列

なお、3)のジェネリック医薬品製造工場の設計研究は第5章として単独に詳述する。今後とも事業主が要望する設備投資リスマネジメントに係る生産施設の短期的な即応性のある設計要件はさらにスピードが求められ、また多様化するものと考えられる。

##### 4-2-1 連棟型式による工場建屋配置計画<sup>25)</sup>

###### (1) 既往の研究

文献31)は最新工場計画実践マニュアルとして全般的な計画手法を取り上げ、土地利用計画とマスタープランの重要性を述べている。とくに工場用地計画の柔軟性に関する8つの設計姿勢を提示し、土地拡張の基本タイプとしてゾーニング・タイプ、ブロック・タイプ、ユニット・タイプを研究している。このうちゾーン・タイプのくし型拡張はオフィスとサービス部門が生産機能とくし形に結ぶタイプであるが、オフィスとサービス部門の拡張まで考慮されているが、やはりこれらの機能の拡張も、くし型拡張の一部として考える必要があり、本研究の設計要件と異なるものである。(参照：図4-15)

###### (2) 極めて自由度の高い建屋配置設計手法

設計手法配置計画Z1から派生した極めて柔軟性のある建屋配置計画として連棟型式による建屋配置を開発研究した。図4-16に設計概念を示す。これは生産品、製造工程が異

なる複数の工場を連棟（生産管理部門、品質管理部門ほか）で繋ぎ、一体の建屋として計画するものである。なお、先述のように既往の研究としてくし型拡張による工場配置計画<sup>3 1)</sup>があるが図4-15に示すようにここで説明する連棟型式による工場配置計画とは異なるものである。

連棟が前面道路に面して正面性、CIを形成し、その裏側に各種工場棟、事務厚生棟がカセットのように組み込まれる。各工場棟を製造環境に応じて別個必要最小限の仕様に設定でき、また連棟を増築して延ばすことにより、さらに工場棟も増築できる。また事務厚生棟も背面に増築できるといったメリットがある。一体の建物であることから廊下を通して各工場棟、事務厚生棟へ行くことができるほか1階に各工場棟への従業員入りを設けて工場の独立した出退勤動線も計画できる。連棟を交差する構内道路が必要な場合大型車両走行のため1階、2階部分が吹き抜かれることから通常3階建て以上となる。連棟内には各工場棟に関連する比較的居室にちかい生産管理部門、品質管理部門、製品検査部門、包装梱包部門等の諸室が設けられ、連棟全体を一定の仕様で計画することで連棟の均質性と連続性を持たせることができる。

### （3）実践例4-3 大日本印刷三原工場

広島県三原市に建設した大日本印刷三原工場で実践した。この工場は複数の異なる製造部門を1つの事業所に併設した比較的規模の大きな工場である。（参照：写真4-3）

1期の生産品はブラウン管用部品と大型投射画面用部品の2つの工場を建設することからスタートした。前者は薄鋼板に露光、エッチングする工程よりなり、また後者はアクリル樹脂の成型工程よりなる。それぞれに増築計画をもつが、建設敷地は19haと比較的広いことからさらに他の生産品製造も視野に入れたマスタープランを策定する必要があった。1期設計中に3番目の製造部門としてフラットディスプレイパネル用部品製造部門が想定された。

これまで比較的規模の大きな工場敷地では生産品が増える度にそれぞれ個別に完結した工場建屋を増築するのが一般的で、それらをできる限り連絡通路で繋ぐ例が多い。敷地区画割りを整形にすることで、ある程度整然とした配置計画の事業所とすることができる。

しかし本プロジェクトでは配置計画Z1のもとに事業所共通機能と各工場機能を建屋で接続して一体化する連棟型式建屋配置計画とした。これにより当該事業所での将来の事業展開計画を極めて柔軟性の高いものにすることができた。

連棟型式建屋のファサードは当該事業所の正面性が変わらないデザインを継承し、内部

は各工場を接続する屋内通路のほか、各工場に関連する居室に近い生産管理部門、品質管理部門、製品検査部門、包装梱包部門等の諸室を配置して連棟全体を統一した仕様で設計できるように計画にした。

生産施設建屋はそれぞれの生産プロセスに合った建屋仕様として自由に設計し、連棟背面にカセットのように装着するように配置できる。さらに各生産施設の増築計画を考慮した建屋配置計画として、それぞれの工場は別個独立の増築計画となっている。(参照：図4-17、写真4-4)

事業所に共通な事務管理部門諸室や福利厚生施設建屋も同じように連棟にカセットのように接続した。これにより各生産施設の従業員が毎日利用する食堂へ雨掛りのない屋内通路が利用でき、この通路で自由に各生産施設建屋にアクセスできることから製造部門間のコミュニケーションにも役立っている。

ユーティリティ施設は中央集中型であり、この施設に隣接してプロセスユーティリティ施設がある。これら施設から各工場へは屋外架空パイプスタンプと地下トレンチを介して接続されている。地下トレンチには地下浸透による土壌汚染が懸念されるプロセスユーティリティ配管を敷設する、底板に点検歩廊、側溝と集水柵を設け、万一ユーティリティ配管から漏えいが生じた場合には目視で定期的に保全できるよう配慮している。屋外パイプスタンプは3、4段のステージがあり、溶融亜鉛メッキ形鋼を利用して現場ではボルト締めで配線、配管を固定できる取り付け詳細架構を採用している。ステージ中央には歩廊を設けて定期的に保全できるよう配慮している。

ところで、図4-17に示す工場棟Ⅰの1期はプロセスライン UC2A であり、U型のプロセスラインが線対称に2ライン配置された計画である。写真4-3の1期竣工時と写真4-4の2期竣工時では中央に塔状建屋が1期中央に1つ増えており、1期が線対称なプロセスライン計画であることが分かる。実は1期は当初半分で計画されていたが、増築する可能性が高かったことから、1期工事の社内稟議手続きの段階で、建屋だけは2倍分を線対称に建設し、半分は将来実装する計画に急遽変更となった。工場棟Ⅰの1期竣工が1993年7月で、数年後には未装の1期半分を実装することとなり、ほどなく工場棟Ⅰの2期工事が1998年3月に竣工し、3期は2000年6月に竣工した。まさに短期的、即応的な増築計画、増産計画が求められたのである。

図4-17に示す工場棟Ⅱの1期はプロセスライン UC3B であり、U型のプロセスラインを並べていく計画であった。

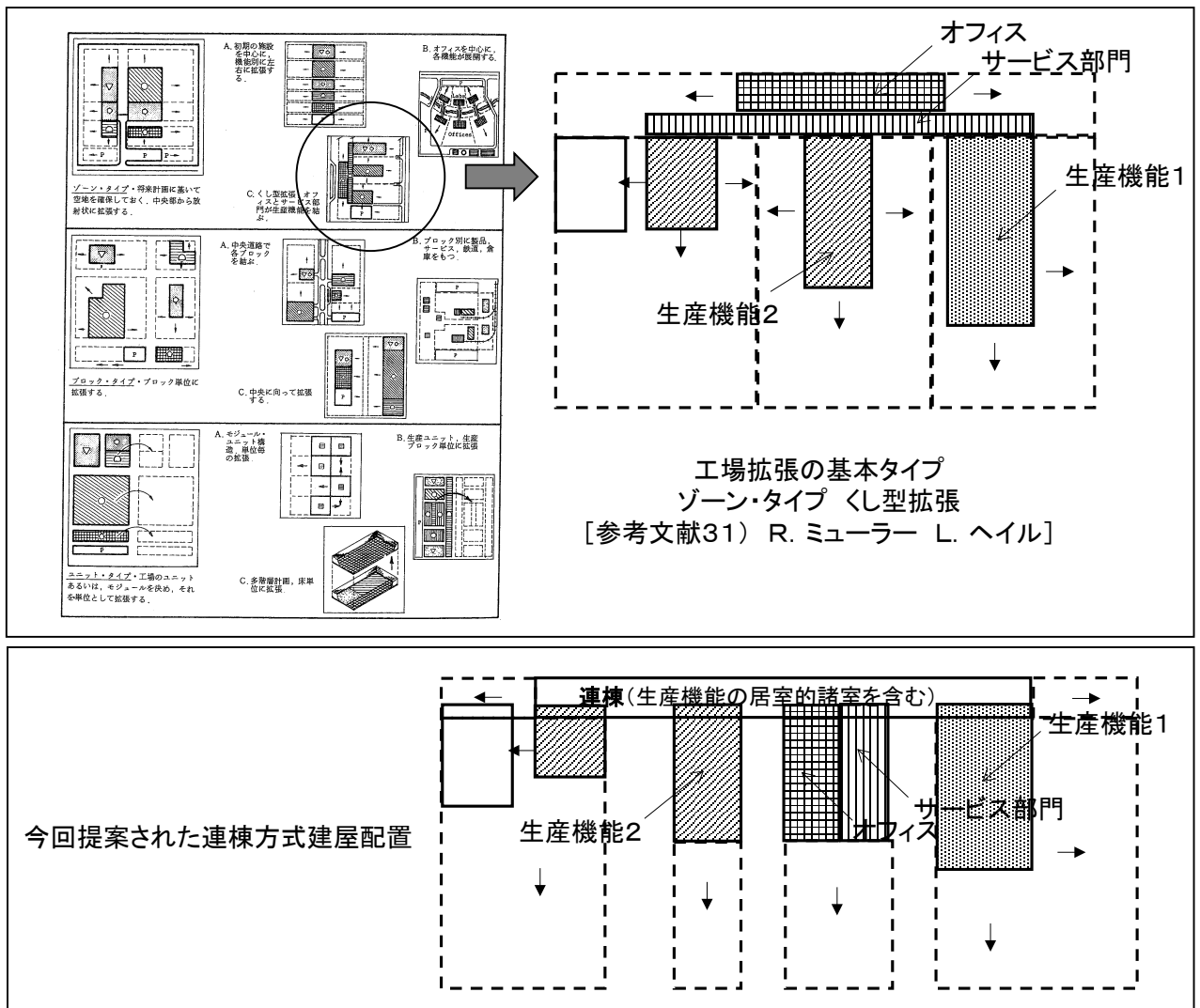


図 4 - 1 5 既往の研究<sup>31)</sup>と本研究との違い

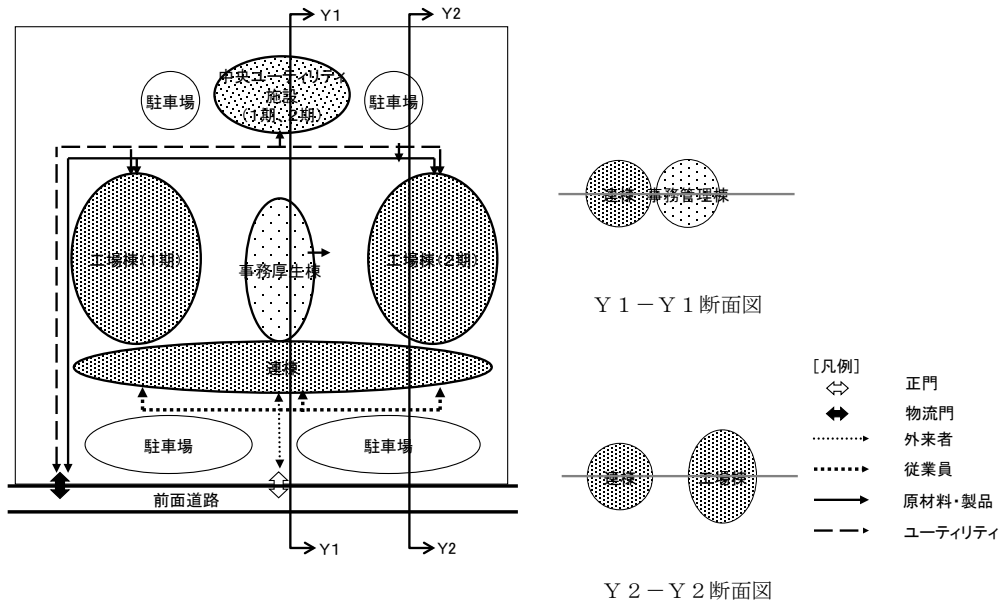


図4-16 配置計画Z1 [連棟型式] 動線図



写真 4 - 3 大日本印刷三原工場（1期竣工）

[写真提供：大日本印刷株式会社]

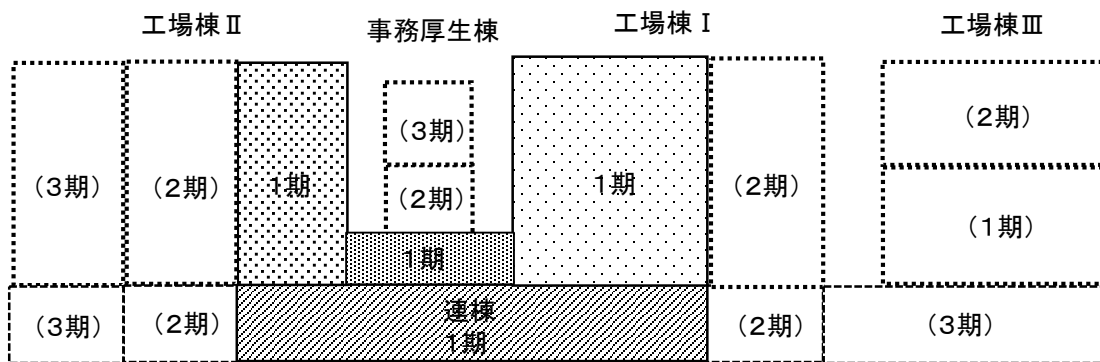


図 4 - 1 7 大日本印刷三原工場建屋配置計画案



写真4-4 大日本印刷三原工場（2期竣工）  
[写真提供：大日本印刷株式会社]



#### 4-2-2 企業グループための専用工業団地開発

##### (1) 極めて自由度の高い敷地利用計画手法

海外進出企業、とくに企業グループにまで発展し、広範囲にビジネスを展開している企業パナソニックから海外へ進出するのは比較的難しくないが、一度進出した工場が撤退するとなるとかなり難しいという悩みを耳にした。中国での話である。これからインドに進出するが同じ轍は踏みたくないとの要望である。

そこで企業グループ専用工業団地開発を提案した。その設計方針は下記の通りである。

- 1) 工場建設区画面積を 2 ha から 3 ha 程度とする。
- 2) 共通施設として事務管理棟、福利厚生棟、ユーティリティ棟等を計画する。
- 3) 通勤用及び来訪者用の駐車場のほか、従業員送迎用バス駐車場を設ける。
- 4) 営業部門のほか地区統括部門用オフィスを設ける。
- 5) 工業団地規模は 6 から 12 区画程度とする。

インド 3 大財閥の一つのグループ会社が農業用地を買収し、大規模な工業団地を開発する計画を進めていた。その地域の一部が切り取られてパナソニックの建設候補地となった。先ずこの敷地が相応しいかの検証作業をすることとなった。当然農地転用の手続きが必要ですぐに設計を開始できる状況ではなかった。そもそも敷地の特定と地盤調査からコンサルタントを開始した。

敷地の特定では日本のような公図はなく、敷地近くには公的なベンチマークもなかった。50m グリッドの座標図面があるのみであった。そのため、敷地関係 3 者（土地所有者、開発会社、パナソニック）による敷地コーナ座標の確認をそれぞれ持参した GPS で行った。当然 GPS は機器精度の問題があり、携帯電話の GPS では役に立たず、結局本格的な GPS 機器を使って特定した。敷地境界点に PC 杭（杭頭中心に金属のピン付き）を打ち込んでさらに杭をコンクリートで根固めした。どうかこの手法で敷地関係 3 者の合意は取り付けた。もっとも農地転用では公的な座標図面をもとにした敷地図で許認可がなされた。

地盤調査ではボーリング調査記録への信頼性を担保するために日建設計シビルから 1 名が調査地点に立ち会うことになった。気候は摂氏 50 度を超える気温と砂漠を思わせる乾季であり、常駐自体厳しいものであったと聞く。このような手順を経て、この建設候補地を対象に設計を開始することとなった。

## (2) 実践例 4-4 パナソニック・インド・テクノパーク

インド国ハリアナ州ジャジャールに建設されたパナソニックグループ専用工業団地パナソニック・インド・テクノパークとして実践した。設計方針通りに設計が進んだが、一部実践する中で変更が生じたものもある。

1)、3)、4)は設計方針通りであり、とくに4)はパナソニック・インドの本社機能をグルガオンから移転し、工業団地の管理機関としての役割も担わせた。5)は取得できた敷地規模が35haから7つの工場建設区画を用意した。(参照：図4-18)2)では工場に必要なユーティリティ設備(自家発電設備ばかりでなく、熱源設備等)が共通施設として中央集中化したが、同一企業グループとは言え、労働条件も賃金体系も必ずしも同一ではないことから事務管理部門、福利厚生部門はそれぞれ各工場にて独自に計画とすることとして、共通施設から除外した。

1期計画では白物家電製造工場2つと電気加工機器製造工場1つの計3つの工場区画を使用することとなった。

図4-19、図4-20は設計段階のパスで、写真4-5は1期完成時の写真である。パナソニック・インド本社ビルと電気加工機器製造工場はどちらも同じ位置に建設されているが、白物家電製造工場の1つが奥の方へ移動して建設されている。これは慣習上の公道(あぜ道)が当該製造工場の当初建設予定区画を通っていることが建設許認可申請中に判明したため、当該区画で建設するには事前に盛替える手続きと工事が必要であることが分かった。この手続きと工事にはかなりの時間を要するため、当該製造工場の建設位置を奥の区画に変更して予定通りに工事に着手した。本体工事中に盛替え手続きと工事を完了し、当該製造工場も同時竣工できた。パナソニックグループ専用工業団地ならではの、極めて柔軟性のある配置計画である。

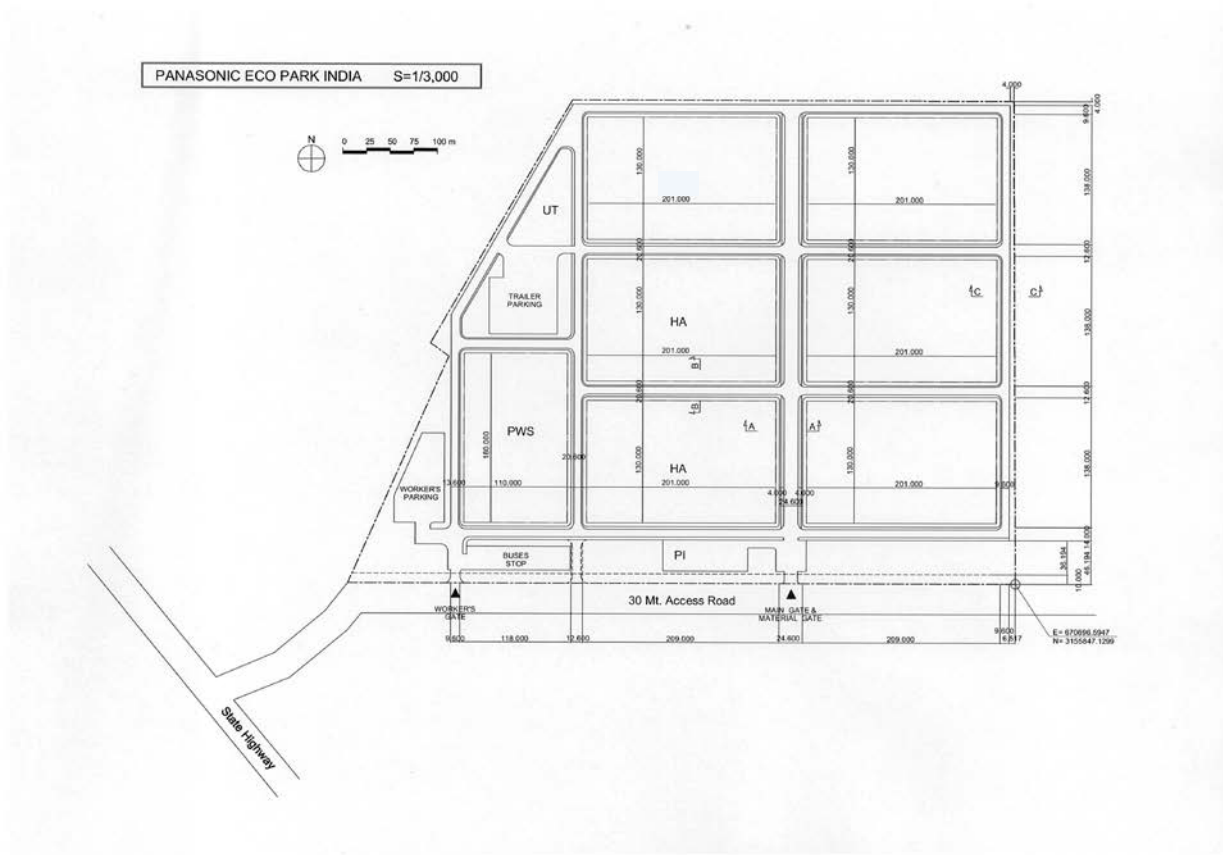


図 4-18 パナソニック・インド・テクノパーク区画割り計画図  
 [資料提供：パナソニック株式会社]



図 4-19 パナソニック・インド・テクノパーク正面外観パース  
 [資料提供：パナソニック株式会社]



図4-20 パナソニック・インド・テクノパーク鳥瞰パース  
[資料提供：パナソニック株式会社]



写真4-5 パナソニック・インド・テクノパーク1期竣工  
[資料提供：パナソニック株式会社]

## 第5章 ジェネリック医薬品製造工場のクラスター型工程配列<sup>43)</sup>

本章では多品種少量生産が要求されるジェネリック医薬品製造工場を対象として、「第3章 防御設計手法の開発研究と実践例」の防御設計としてクリーン度確保のためにクロスコンタミを多重に防御する工程配列であり、かつ「第4章 将来へ向けて自由度の高い建築計画手法と実践例」の将来へ向けて極めて自由度が高く、生産品目の入れ替えが容易な工程配列であるクラスター型工程配列による工場設計概念を開発研究した。またその実践した事例を述べる。

### 5-1 ジェネリック医薬品製薬工場の設計要件

ジェネリック医薬品工場の建築設計では、ジェネリック医薬品の特徴である多品種少量生産方式に起因して、(1) 多種類の生産品の製造が並行して進められることによるクロスコンタミの発生を回避するための多重防御と(2) 市場が要求する生産品を速やかに供給するための頻繁に生産品目の切り替えが容易で極めて自由度の高い工程配列の2つの設計要件を満足する設計手法が求められる。

#### 5-1-1 研究の背景と目的

ジェネリック医薬品とは、新薬の特許期間満了後に厚生労働省の承認を得て製造販売される新薬と同性能の医薬品を指し、後発医薬品とも呼ばれる。ジェネリック医薬品は新薬と大きく異なる4つの特徴があると考えられる。第1は生産品の種類が多岐にわたること、第2は基本的に少量生産であること、第3は規格品開発が短期間であること、第4は製造原価をより低く抑える必要があることである。ジェネリック医薬品は添加物の違いのほか、同一成分のものでも含有量・形態によって生産品は多岐に渡る。そのため医療ミスに直接的につながるおそれがあるほか、生産段階のクロスコンタミの発生を抑えることが安全性を確保するためにもっとも重要な課題であり、多重防御が必要な設計要件である。

本章はさらにジェネリック医薬品に特有な製造過程を有する医薬品製造工場を対象として、実際に建設された事例を示しながら、多品種少量生産に適合したジェネリック医薬品製造工場の工程配列の特徴を明らかにして、最適化された工程配列の提案をすることを目的とする。

設計事例は少なく、事例の積み上げの必要性はあるものの、ジェネリック医薬品の発展する機運の中、主として理論的な側面より研究するものである。

### 5-1-2 既往の研究

工程配列の研究は、装置型工業生産工場における生産プロセスに沿って製造装置を並べるプロセス重視の生産ラインレイアウトに関するものと、加工組立型工業生産工場における独立した各構成部品の単純な機械的な加工と結合作業からなる個別生産方式、コンベヤ生産方式、ライン生産方式等に関するもの<sup>26)</sup>、<sup>29)</sup>、<sup>35)</sup>がある。さらに加工組立工業分野の工場レイアウトを工程中心のものと製品中心のものに分類する研究<sup>26)</sup>、<sup>28)</sup>、<sup>29)</sup>がある。製品の種類(P)と製品の量(Q)には図5-1<sup>28)</sup>に示すような相関関係があり、2種類の工程配列を定義して、Qが大きいものは製品の種類が少なく、連続生産方式の製品中心の工程配列が、Qが小さいものは個別生産として工程中心の工程配列がそれぞれ対応し、中間領域ではロット生産方式、折衷型(混成型)レイアウトがとられている。その後、1970年代に入り、産業が重厚長大的な生産方式から多品種変量生産方式<sup>32)</sup>、<sup>36)</sup>へと変化し、P-Q曲線におけるQが多品種変量しても対応可能な工程配列が研究され、加工組立型工業でセル生産方式<sup>37)</sup>が生まれた。これは熟練工による生産技術をもとにした人間志向型の研究成果であり、装置型工業では装置従属型工場から一定の空間に各種の装置を並べる一般型工場へシフトしたほかは多品種変量生産に関する研究は少ない。これを装置型工業の1つである製薬工業分野の製剤工場に注目して分類すると表5-1のようになる。一般的な製薬会社の製剤工場は、企業機密に関わるために建築の情報がほとんど公開されることはなく研究テーマとして扱われることが少なかった。このような状況の中、装置型工業であるジェネリック医薬品製剤工場の多品種変量生産、特に多品種少量生産に適合した工程配列を研究する意義は大きいと考える。

### 5-1-3 研究の方法

ジェネリック医薬品製造工場での多品種少量生産のために新たな基本工程配列として「クラスター型工程配列」<sup>注1)</sup>を定義し、装置型工業における既往の研究である、工程を中心とした工程配列、製品を中心とした工程配列、折衷型工程配列という3つの基本的な工程配列を比較対象として、医薬品製造工場に求められる特殊条件<sup>37)</sup>及び5-1-1で述べたジェネリック医薬品製造工場へ求められる4つの基本要件への充足度を評価することによりその有効性を検証することとする。

## 5-2 クラスター型工程配列工場

### 5-2-1 クラスター型工程配列による多品種少量生産

クラスター配列概念およびクラスター型工程配列製剤工場概念を図5-2、図5-3に示す。中央通路にそって「共用クラスター」と特定の生産を製造する「専用クラスター」が配列されている。

### 5-2-2 クラスターの平面構成

クラスターの基本構成は図5-4に示すようにルーム1からルーム5の5つのルームと側路及び前室からなる。4つのルームは固形製剤の基本工程である調剤、乾燥、混合、打錠に対応している。クラスター内の各ルームは基準寸法を統一して、標準化しており（本論文では前者をモジュール寸法、後者をモジュール化と呼ぶ）改修に際してできるだけ汎用性と柔軟性のある計画としている。「1ルーム1マシン」コンセプトを遵守して各ルームには製造装置が1基ずつ設置される。クラスター内は側路を介して各ルーム間で中間製品を自由に搬送ができる。共通クラスターが基本であるが特定の生産品が多量生産品となった場合専用のクラスターとなる。図5-3は共用クラスターが10単位、専用クラスターが4単位の工程配列概念である。

### 5-2-3 クラスターの断面構成

クラスター型工程配列工場は平面構成が基本で、平屋あるいは単層を重層化した建屋となる。断面計画上重要なことは各種ダクト、配線、配管等の供給ルートをいかに合理的にするか、他のクラスターへ波及的影響のなくクラスター内の改修工事が行えるかである。その要件を満たすため天井裏を高く確保することが基本となる。そこで図5-5のように天井裏をISS（Interstitial Space）として外周通路を設けることを推奨する。これらはクラスター型工程配列に必然的な建築要素ではないが、より施設性能を向上させるものである。

クラスターに必要なユーティリティには製造装置用、換気空調設備用、給排水設備用等があり、また共用のものと専用のものである。クラスター型工程配列では中央通路上部の天井裏は共用ユーティリティのメインルートとして計画し、各クラスター直上の天井裏はメインルートから分岐したダクト、配線、配管ルートのほかクラスター専用の生産付帯設備の設置スペースとして活用する。

### 5-2-4 クラスターおよび中央通路の室圧管理

生産工程が工場内各所に分散している場合、中央通路で工程間の中間製品搬送が頻繁に行われることから、中央通路でのクロスコンタミ発生の可能性が増大する。これは多品種少量生産の場合、とくに問題となりうる。そこでクラスター型工程配列ではクラスター単位で主生産工程を完結させる工程配列として、中央通路での中間製品等の搬送頻度をできるだけ小さくしている。さらに、クラスター型工程配列では中央通路とクラスター間の差圧を最陽圧に設定することによって<sup>40)、41)、42)</sup>中央通路とクラスター間の差圧管理により相互のクロスコンタミを回避する安全策を講じている。室圧管理概念を図5-6に示す。さらに各クラスターに前室を設けてやや陽圧に管理し、前室が中央通路とクラスター間のトラップ<sup>40)、42)</sup>となるよう計画している。一方、クラスター内ではルーム（製造室）を最陽圧としてルーム毎に清浄度を確保している。このように中央通路最陽圧設計のほかクラスター

前室でのトラップ機構によりクラスターはクロスコンタミの危険性回避、清浄度確保に対しての多重防御となっている。

#### 5-2-5 クラスターへの生産工程の具体的な割付

クラスター型工程配列を採用した場合のクラスター一覧表例を表5-2に示す。図5-3に対応する14単位のクラスターからなる工場である。クラスター1は標準的な工程であり、クラスター2, 3は生産工程に特徴のあるクラスターで、中規模生産品に割当てられている。共用クラスター9, 10は治験薬GMP工程である。

#### 5-2-6 折衷型、装置個別設置型、ライン型工程配列との比較検討

ジェネリック医薬品製造工場におけるクラスター型工程配列を評価するため、製薬工場の設計・施工の特殊条件<sup>37)</sup>、ジェネリック医薬品工場設計の基本要件を具体化した評価項目をもとにして製薬工場における他の配列形式との比較検討を行う。他の形式とは折衷型工程配列〔中間領域の工程配列、混成型〕、装置個別設置型工程配列〔工程中心の工程配列、ギャング方式〕、ライン型工程配列〔製品中心の工程配列、ライン方式〕である。製剤工場における各工程配列概念を図5-7から図5-10に示す。図中TA1からTD4は調剤から打錠までの各製造装置の略号である。折衷型工程配列とはこれまで一般に採用されてきた複数の特定された生産品の製造を前提にした工程配列で、核となる基本工程装置群（調剤機、乾燥機、混合機等）をセットにして一つの生産グループとし、それらを複数、中央通路に沿って並べたものである。打錠機は別途打錠機グループに集合させ、前室を介して共通利用している。また、生産グループ諸室は一般に個別前室を持たない。装置個別設置型工程配列とは混合機は混合機群へ、調剤機は調剤機群へと工程毎に同種製造装置群を集合させる配置計画である。共通前室を持ち製造装置は各室に一つずつ設置される。装置個別設置型工程配列では中央通路から共通前室を経て装置室へ入る。製造手順は装置群毎に適合する製造装置を選択して中間製品を製造し、さらに中央通路を介して次工程の製造装置群へ移動して、順次渡りながら生産していく方式である。ジェネリック医薬品製造工場の基本要件を5-1-1で述べた4つの特徴から「品質保持」、「生産性」、「改修の自由度」、「製造コスト」の4つに分類し、それらを具体化した15個の評価項目により各工程配列の優劣を比較検討した。評価項目として、品質保持ではクロスコンタミ回避及びその機能維持に必要な換気空調システムの独立性を、生産性では多品種少量生産のための生産管理の容易さ、生産品切り替え効率と安全性を、改修の自由度では生産工程変更に伴う改修追従性を、製造コストでは生産エリア面積効率、装置稼働率、建築設備運転費等を抽出した。結果を表5-3に示す。（評価項目ごとに比較し、優れている方を○に、劣っている方を△と記した。）

##### (1) 折衷型工程配列〔混成型〕

折衷型工程配列では調剤、乾燥、混合の各製造室は隣接して配置されているが打錠工程は



打錠室群に配置されているため、中央通路での中間製品の搬送が必要となる。この搬送作業は生産品目が多くなればなるほど頻繁になり、中央通路でクロスコンタミの可能性を増大させる。打錠工程が分離しているため生産管理も難しくなる。また、折衷型工程配列の場合、計画当初において合理的な配置が優先されるため、諸室の外郭線が整然としたものにはならず、**図5-7**のように、一文字や「く」の字配置となり、室寸法も変則的になりがちである。そのため改修も困難で、柔軟性にも乏しい配置計画となる。さらに、廊下を最陽圧に設定することにより前室を設けない場合も多く、また中央通路から直接アクセスできない製造室も見受けられる。特定生産品の製造に特化されている場合に適するが多品種となるジェネリック医薬品の製造にはクロスコンタミの危険性の問題もあり、適さないと考える。(参照:**図5-7**)

#### (2) 装置個別設置型工程配列 [工程中心の工程配列、ギャング方式]

多品種少量生産品の製造装置は必ずしも共通化できるものばかりではないことから、一つの製造装置群にグルーピングせずに、製造装置を一つ一つ任意に選択できるよう配置しておけば、どのような製造工程の生産品であろうと工程毎に相応しい装置を選択することで随意の製造が可能である。また対象とできる製造工程の幅が広がる一方、装置単位の稼働率を上げることでもできる。さらに製造装置能力が十分である限り同一装置を複数購入する必要もない。できるだけ製造装置への設備投資を抑えることを優先すると装置個別設置型工程配列となる。しかし、共通前室でのクロスコンタミの他、各装置群を飛越しながら生産するため中央通路での搬送に伴うクロスコンタミの可能性も増大する。さらに一つの生産品製造が各所生産エリアで平行して進むため、生産管理も非常に難しくなる。すなわちジェネリック医薬品の製造には適さないと考える。(参照:**図5-8**)

#### (3) ライン型工程配列 [製品中心の工程配列、流れ方式]

ライン型工程配列は折衷型工程配列に比べて3つの特徴がある。第1は調剤、乾燥、混合の各工程のほか打錠工程も組み込んで、基本製造工程が一つのライン内で完結している生産工程完結型“Closed System”としていること、第2はライン内の各ルームを基準寸法で統一し、標準化できること、第3は入側、出側の2つ通路に挟まれ、基本的に生産プロセスは一方通行に流れることである。第1の特徴から中間製品搬送はライン内の側路に原則限られクロスコンタミの危険性がない。さらに各ラインと入側、出側通路は前室があることにより差圧管理上多重防護構造となっている。一方、生産品切り替え時の洗浄作業も他のラインを止めることなく独立して行うことができる。さらに一つの生産品がライン単位で製造されるため生産管理もし易い。共用ラインのほか専用ラインを併用することにより少量生産から多量生産への移行が容易である。ライン内の製造装置の入替え、一部改修等もライン単位で独立して行うことができる。ラインの各ルームがモジュール化されている第2の特徴から製造装置の全面的な入替えを伴う生産品の変更に対して柔軟な改修ができることが

可能である。休止中のラインがある場合はそのクラスターを換気空調設備を極小運転とすることで工場全体の省エネルギーを図ることができる。また対象とする生産品の品質確保上製造装置を設置する製造室の温湿度条件が厳しい場合でも合理的な個別空調システムの採用により柔軟に対応することができる。GMP査察もライン単位となり簡明である。このようにライン型工程配列はクロスコンタミの危険性がなく、フレキシブルな工程配列であるが通路が入側、出側の2つ、それらに取りつく前室も2つ必要となり各ラインの側路が長くなり建設工事費が他の工程配列に比べてもっとも高額になる。また各生産ラインが入側と出側の通路で挟まれていることから生産装置の入れ替えがどちらかの通路を介して行われることとなるため他の生産ラインの生産に影響を及ぼす恐れがある。すなわちジェネリック医薬品の製造には適しにくいと考える。(参照:図5-9)

#### (4) クラスター型工程配列 [製品中心の工程配列、流れ方式]

基本製造工程が1つのクラスター内で完結している生産工程完結型“Closed System”とされていること、クラスターが間口寸法、奥行き寸法ともにモジュール化され、構成要素であるルームも標準化されていること等ライン型工程配列のメリットを生かしながら、建設工事費については入側通路、出側通路を中央通路で一本化し、さらに各ルームをU字型に配置することにより前室を一つにし、側路を短くして経済性を追及した工程配列である。またクラスターへの生産装置の入れ替えは中央通路とは逆側から行えるので他のクラスターの生産に影響するおそれがない。すなわちジェネリック医薬品の製造に最も適した工程配列である。(参照:図5-10)

#### 5-2-7 多品種少量生産施設へのクラスター型工程配列の優位性

クラスター型工程配列は折衷型工程配列、装置個別設置型工程配列、ライン型と比較を行いジェネリック医薬品製造工場においてもっとも優位性のあることが明らかになった。この工程配列概念はジェネリック薬品製造分野以外の多重防御の必要な多品種少量生産が基本要件となる生産施設にも適用可能な汎用性の高い製造工場モデルの一つとなる可能性があると考えられる。

注1)

「クラスター型」の用語の定義

「クラスター」とはぶどう、さくらんぼなどの「房」を意味し、図5-2に示すように同種類の物または人の集団配置概念として、例えば土地利用の配置パターンとしての「土地利用クラスター」<sup>38)</sup>、<sup>39)</sup>、コンピュータ分野での「クラスターデータベース」、教育分野での「クラスター型キャンパス」等広く用いられている用語である。これを医薬品製造工場の工程配列として捉えた場合、「クラスター型工程配列医薬品製造工場」とは、ある特定の生産

品グループの製造装置群の集合体であるクラスターが、製造工程上の主搬送動線軸に沿って配置された工場と定義できる。

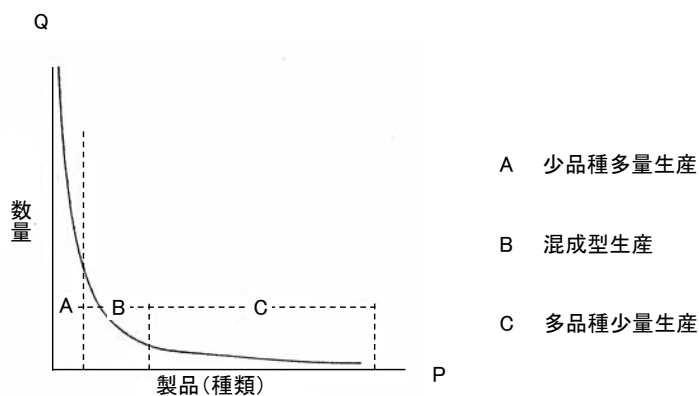


図5-1 PQ曲線<sup>28)</sup>

表5-1 製剤工場における工程配列

工場分類	工程配列の種類別			製剤工場種別		工場実績
	工程中心	中間領域	製品中心	従来医薬品	ジェネリック医薬品	
製剤工場	装置個別設置型[ギャング方式]			実績なし	実績極少	T社T工場(2007年竣工)
		折衷型[混成型]		実績多数	実績あり	N社I工場(1978年竣工)、 E社N工場(1983年竣工)ほか
			ライン型[流れ方式]	実績なし	実績極少	S社K工場(2007年竣工)
			クラスター型[流れ方式]	実績なし	実績なし	N社I工場(2009年10月着工予定)

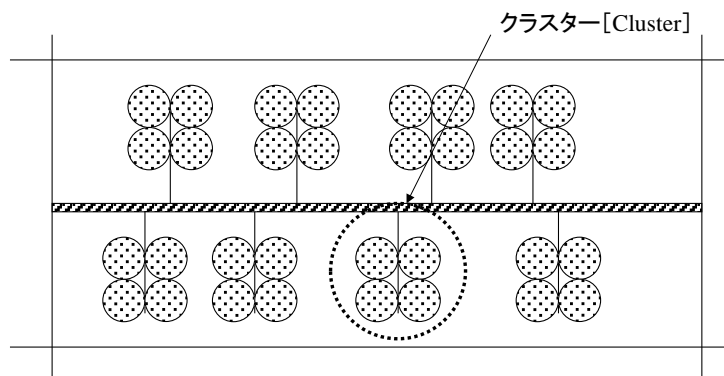


図5-2 クラスター型配列概念図

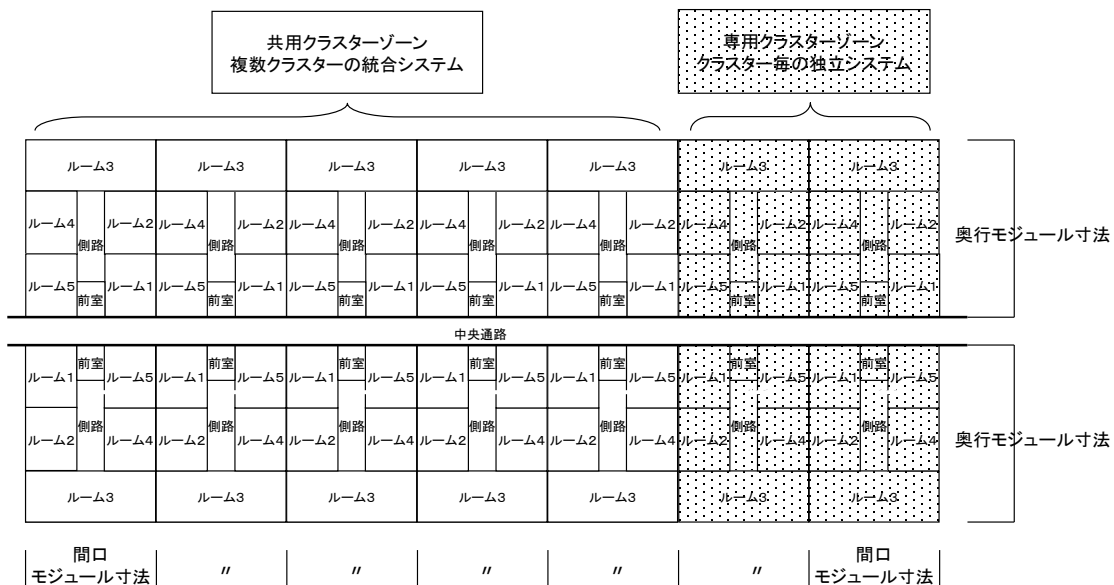


図 5 - 3 クラスタ型工程配列製剤工場概念図

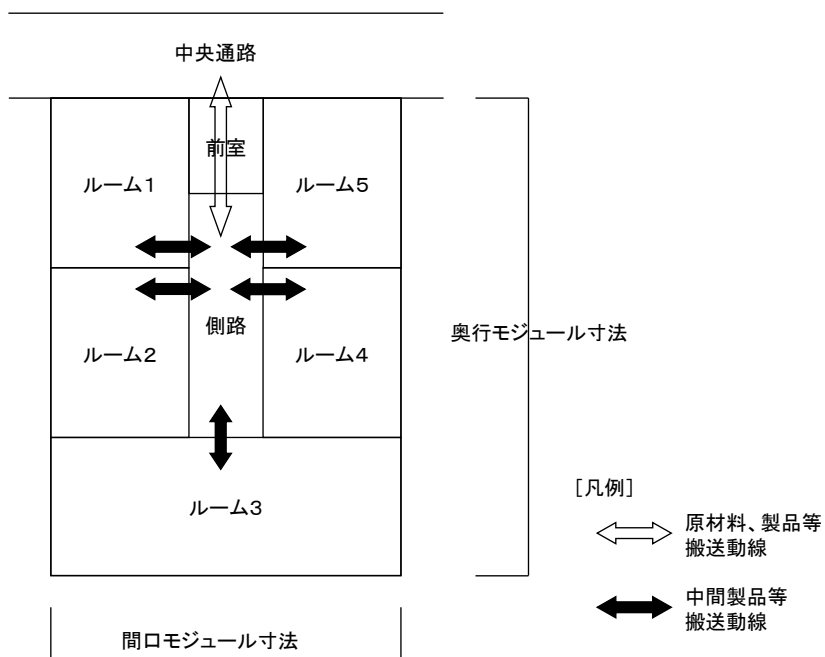


図 5 - 4 クラスタ型工程配列工場の基本平面構成図

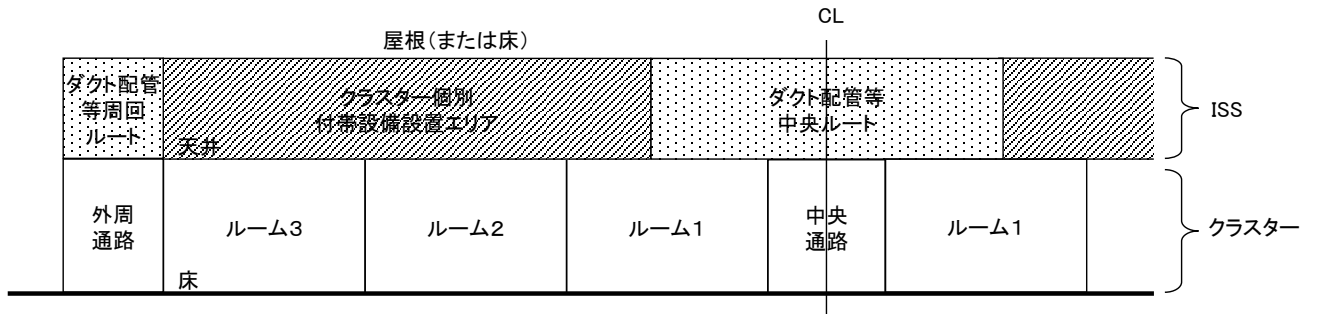


図5-5 クラスター工程配列工場の基本断面構成図

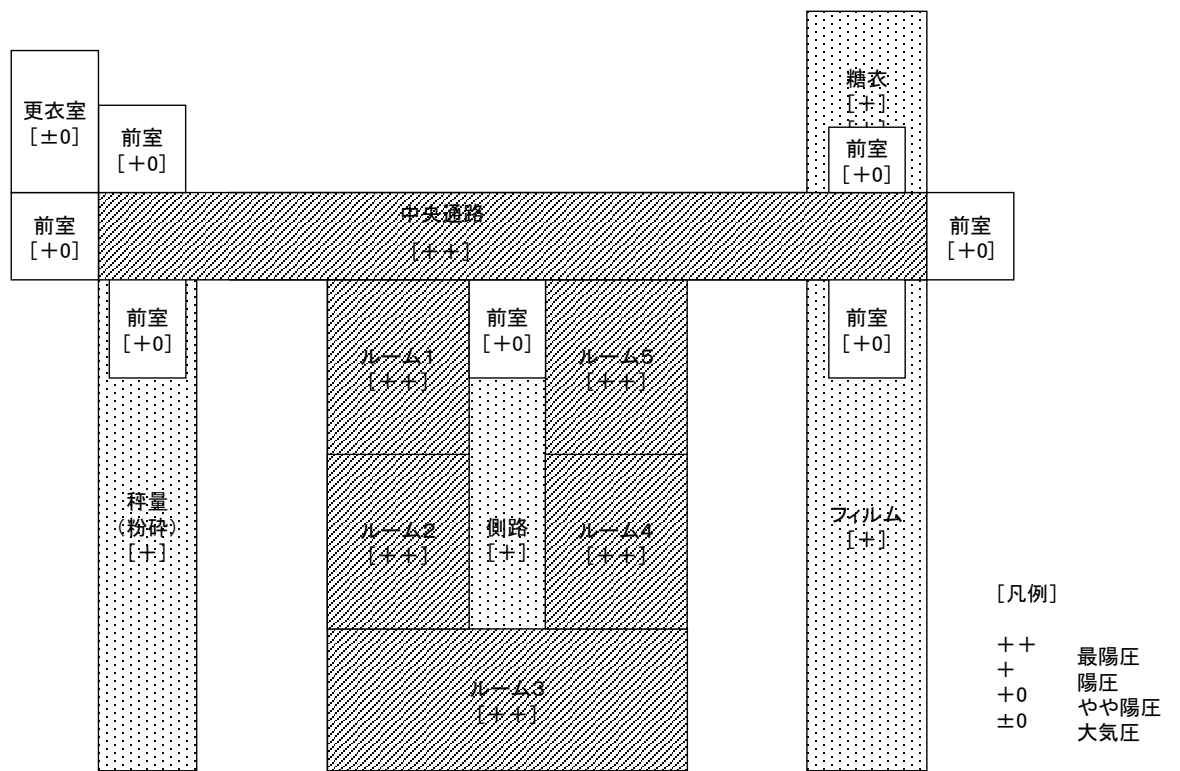


図5-6 クラスター及び中央通路の差圧管理図

表5-2 クラスター工程配列一覧表例

クラスター	共用1		共用2			共用8	共用9	共用10	専用1	専用4
製品	C1A	C1B	C2A	C2B	C2C	治験薬GMP1	治験薬GMP2	C10A	S1A	S1D
生産工程	①混合調剤	①混合溶融	①混合調剤	①調剤	①調剤	①調剤	①調剤	①調剤	①調剤	①調剤
	②乾燥	自然放置	②乾燥	②乾燥	②乾燥	混合調剤	混合調剤	②乾燥	②乾燥	②乾燥
	③整粒、 篩別、混合	③破碎 整粒 篩別 混合	③篩別、混合	③混合	③混合	混合溶融 /自然放置	混合溶融 /自然放置	③混合	③混合	③混合
			④打錠	④打錠	④打錠	②乾燥	②乾燥			
生産量	中量	中量	中量	中量	少量	少量	少量	多量	多量	

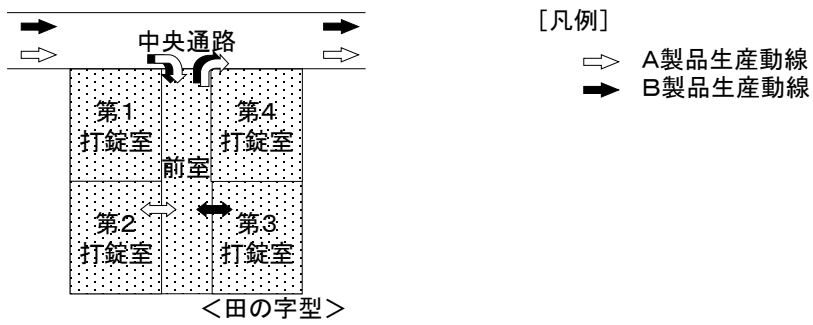
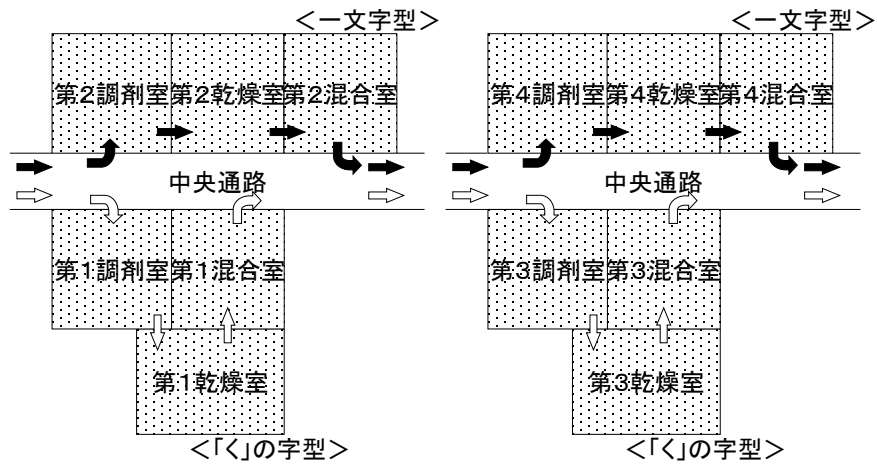
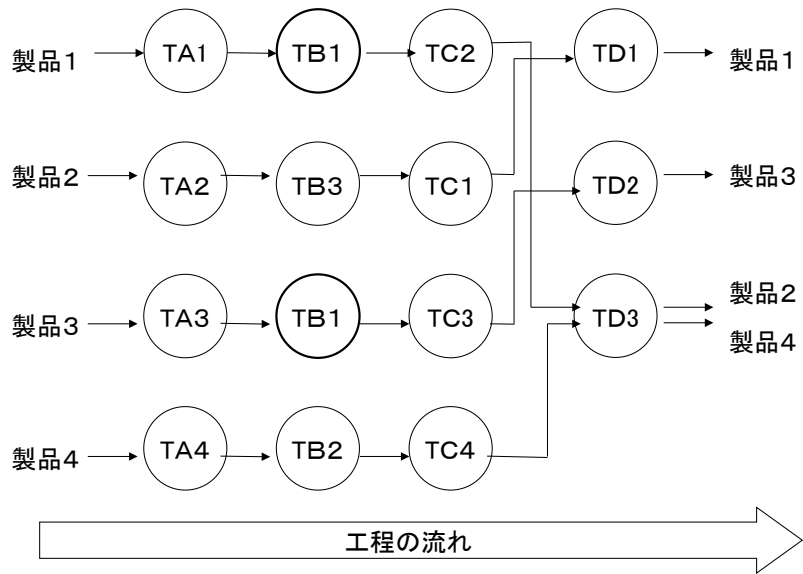


図5-7 折衷型工程配列 [混成型]

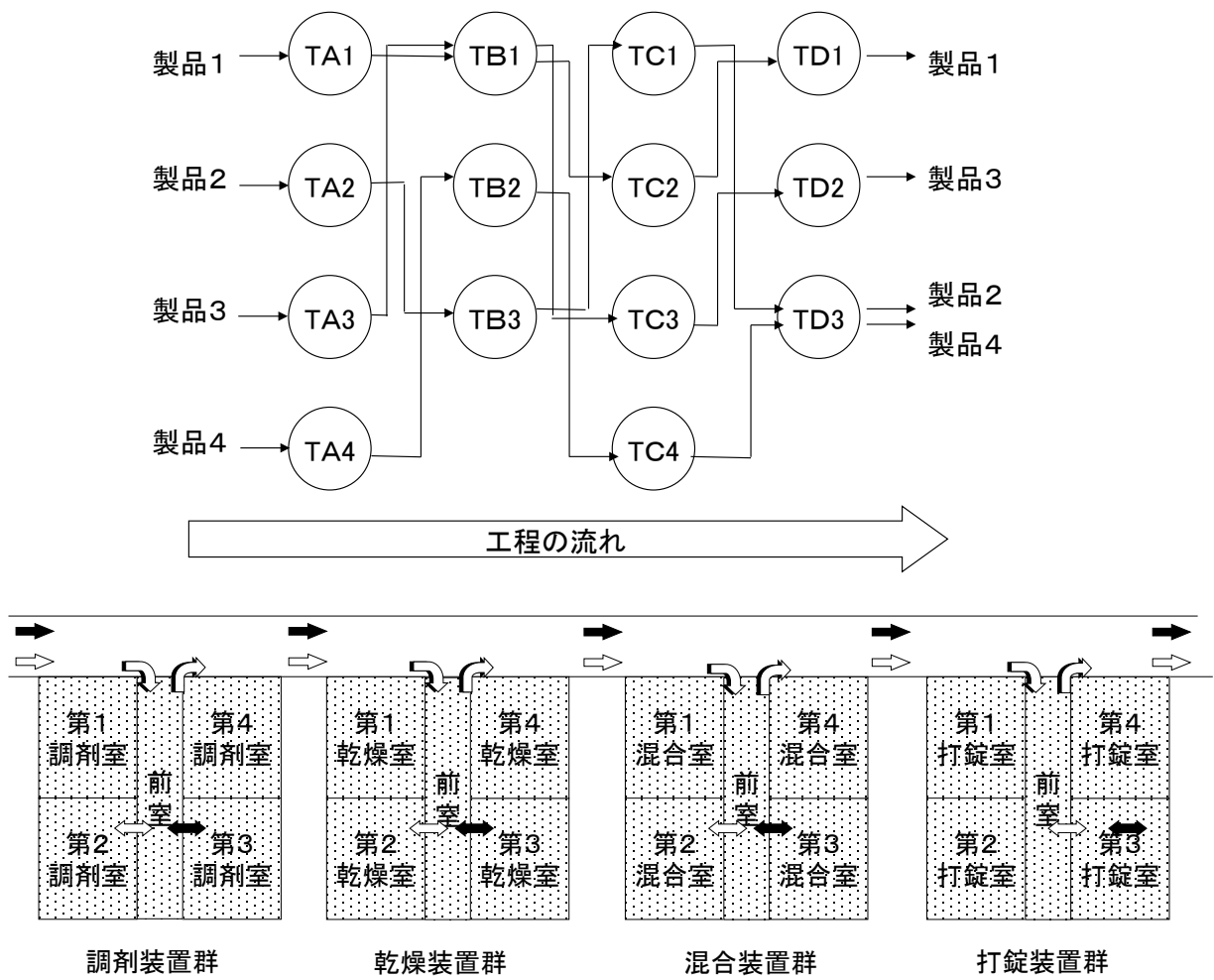


図5-8 装置個別配置型 [工程中心のレイアウト、ギャング型]



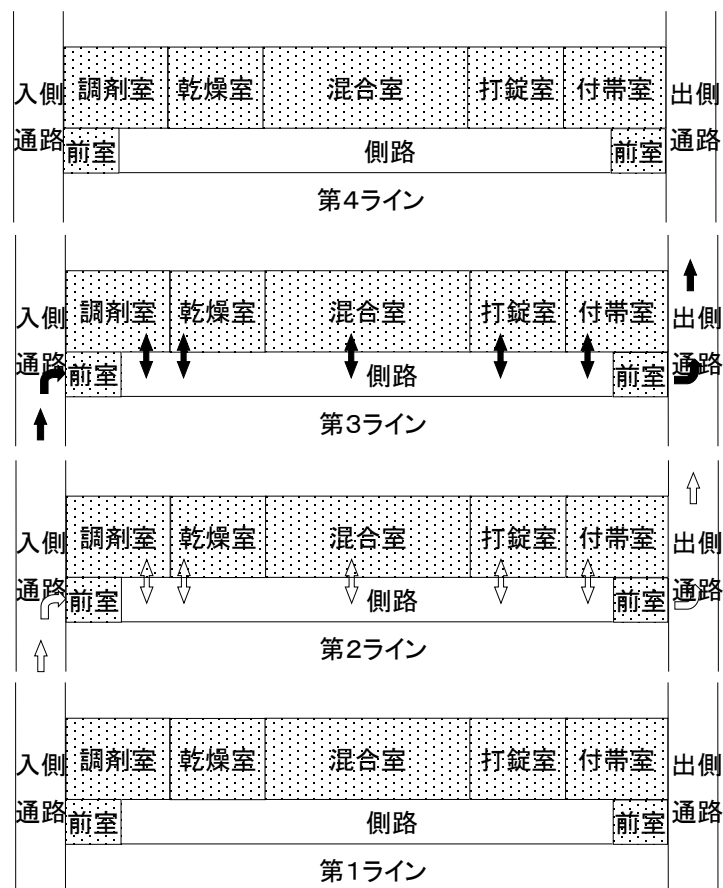
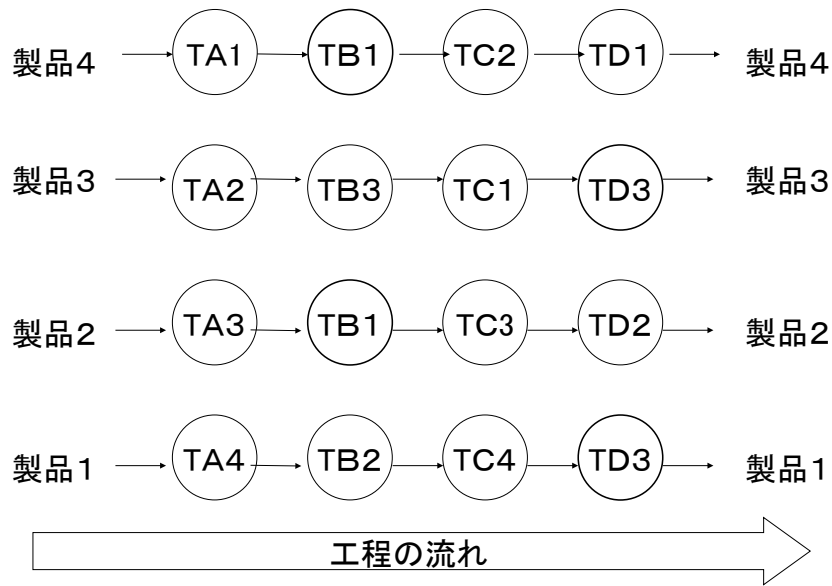


図5-9 ライン型工程配列 [製品中心のレイアウト、流れ方式]

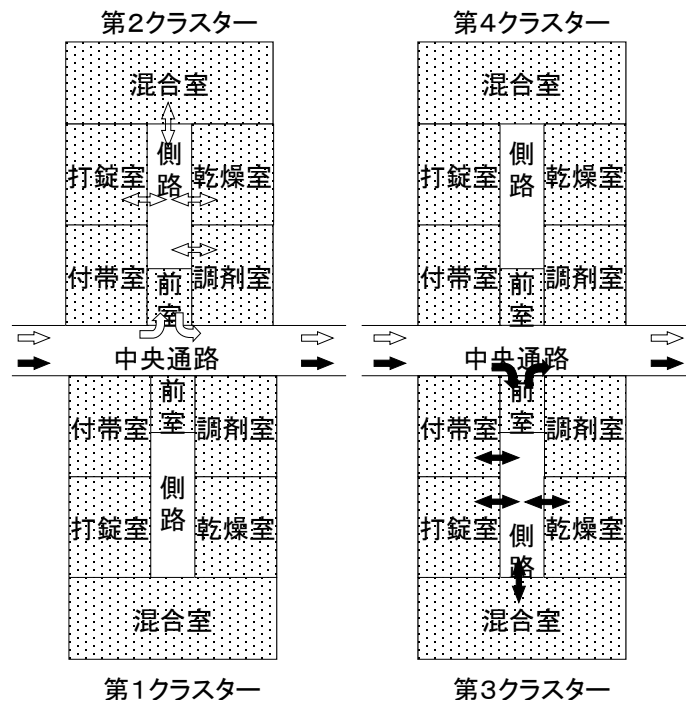
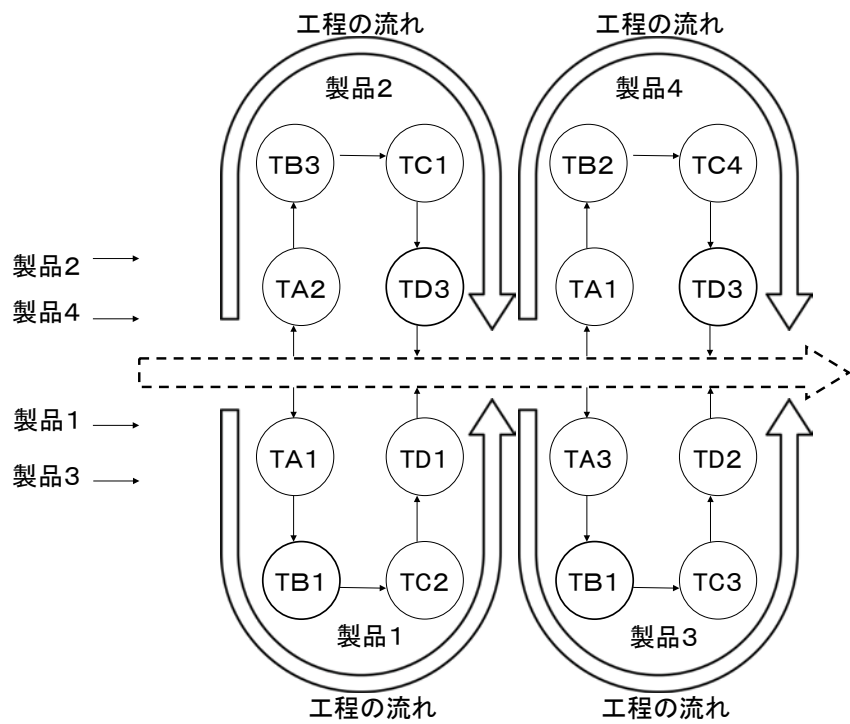


図 5-10 クラスター型工程配列 [製品中心のレイアウト、流れ方式]

表5-3 ジェネリック医薬品製剤工場向け工程配列としての比較表

工程配列型式		折衷型工程配列		装置個別設置型工程配列		ライン型工程配列		クラスター型工程配列	
配列種別		混成型		工程中心の工程配列[ギャング方式]		製品中心の工程配列[流れ方式]		製品中心の工程配列[流れ方式]	
工程配列概念図									
基本要件	評価項目	評価	理由	評価	理由	評価	理由	評価	理由
品質保持	クロスコンタミネーション発生の危険性回避	△	中間製品が搬送される中央通路及び打錠工程共通前室でクロスコンタミ発生のおそれがある。	△	中間製品が搬送される中央通路及び共通前室でクロスコンタミの可能性が高い。(事故例あり)	○	入側、出側両通路での中間製品の搬送がない。ライン内2つの前室が出側入側両通路とのクロスコンタミを多重防護している。	○	中央通路での中間製品の搬送がない。クラスター内前室が中央通路とのクロスコンタミを多重防護している。
	生産グループ単位での換気空調設備システム適用の可否	△	生産グループ単位で可能であるが、打錠室は困難である。	△	同種装置グループ構成のため生産グループ別管理は困難である。	○	ライン単位で可能である。	○	クラスター単位で可能である。
生産性	生産手順の容易さ	△	生産グループ単位では効率的な動線となっているが、打錠工程では個別動線となっている。	△	各工程毎に個別の動線となっており、かつ各工程毎に前室を介する必要がある。	○	ライン内側路を介した搬送のみで完了する。	○	クラスター内側路を介した搬送のみで完了する。
	生産管理のし易さ	△	打錠室が個別設置のため困難である。	△	全ての装置が離散しているので管理し難い。	○	ライン内で全ての装置が集約されているので非常に管理し易い。	○	クラスター内で全ての装置が集約されているので非常に管理し易い。
	生産品切り替えの容易さ	○	生産グループ単位で切り替えし易い。打錠室は個別に選択可能である。	○	各装置群毎に装置を個別に選択するだけで対応可能である。	○	ライン単位で容易に切り替えられる。	○	クラスター単位で容易に切り替えられる。
	生産品切替時洗浄作業の容易さ	△	生産グループ単位での一括洗浄は可能であるが、打錠室は個別洗浄となるため、管理し難い。	△	洗浄作業が各装置群毎各所で行われるため管理し難い。	○	ライン単位で効率的に一括洗浄し易い。	○	クラスター単位で効率的に一括洗浄し易い。
	生産品切り替時の他の生産エリアへの影響	△	生産グループ単位での影響はないが、打錠室は前室が共通しているため影響のおそれがある。	△	共通前室のため影響する。	△	ライン単位の切り替えであるが入側または出側の通路と動線交差を生じる。	○	クラスター単位の切り替えであり、かつ中央通路と逆側から改修できるので他へ影響しない。
改修の自由度	多量生産品製造への追従性	△	生産グループ単位では専用ライン化が可能であるが、個別設置の打錠室は共用となる。	△	装置が離散しているため追従性に欠ける。	○	専用ライン化することで追従可能である。	○	専用クラスター化することで追従可能である。
	生産工程の組合せ自由度	△	基本的に用意された生産グループから選択する必要があり、自由度に欠ける。	○	装置群からの装置選択の問題であり、自由度が高い。	△	基本的に用意されたラインから選択する必要があり自由度に欠ける。	△	基本的に用意されたクラスターから選択する必要があり自由度に欠ける。
	製造エリア改修の自由度	△	生産グループが不整形な室形状のため自由度に欠ける。	○	基本的に増設以外の改修は不要である。	○	ラインが整形でモジュール化されているため自由度が高い。	○	クラスターが整形でモジュール化されているため自由度が高い。
製造コスト	建設工事費(生産エリア床面積)	○	生産エリア面積を狭くできる。	○	前室が共通しているため生産エリア面積を比較的狭くできる。	△	通路は入側、出側の2つ、前室も2つ必要であり、また側路も長い。モジュール化しているため装置寸法によっては余剰エリアが生じる。	○	モジュール化しているため装置寸法によっては余剰エリアが生じる可能性があるが、前室が1つであり、また側路も短い。
	装置の有効利用、単独利用(装置の稼働率向上)	△	打錠機は共用できるが、生産グループ内にある装置単位での共用は難しい。	○	装置単体の利用を前提としている。	△	グループ単位での利用が前提となり、装置単体の共用は難しい。	△	グループ単位での利用が前提となり、装置単体の共用は難しい。
	建築設備工事費(建築設備系統の煩雑さ)	△	生産グループ毎と打錠工程に整理できる。	△	装置グループ毎に整理できる。	○	ライン毎に整理できる。	○	クラスター毎に整理できる。
	生産関連人件費(*1)	○	折衷型を基準費用とする。	○	折衷型と変わらない。	○	折衷型と変わらない。	○	折衷型と変わらない。
	建築設備運転費(省エネ運転)	△	生産グループ単位での極小運転モードが適用可能で、省エネが図れる。打錠工程は多少エネルギーロスのおそれがある。	△	各装置室単位の個別運転が難しく、エネルギーロスが生じる。	○	ライン単位での極小運転モードが適用可能で、省エネが図れる。	○	クラスター単位での極小運転モードが適用可能で、省エネが図れる。
総合順位		3位(△12 ○3)		4位(△9 ○6)		2位(△4 ○11)		1位(△2 ○13)	

凡例: ○ 優れている △ 劣っている

注) \*1 一人の運転管理者は一台の製造装置しか同時に管理しないことを前提とすることから、工程配列による差は基本的に生じない。

### 5-3 実践例（その6）

#### 5-3-1 日本薬品工業つくば工場2号棟第7調剤室改修計画

茨城県筑西市にある日本薬品工業つくば工場2号棟既存工場内に改修工事により設置したクラスター型ジェネリック医薬品製造工程室である。（参照：写真5-1）

もともと従来の折衷型工程配列の製剤関連諸室群からなる工場であるが、その一部を改修して、はじめてのクラスター型工程配列の製造室として第7調剤室を設置した。調剤、乾燥、混合、打錠の4つの工程室からなるクラスターである。中央通路からクラスターの前室を経て、側路に入り順次各工程を渡って素錠まで製造する。（参照：写真5-2）

建設当初（他社設計）による既存2号棟は従来型の折衷型工程配列の諸室群で工程室陽圧設計であった。その後FDA（アメリカ食品医薬品局）の指導により中央通路最陽圧設計に改造することになったが、抜本的な空調システム改造は難しく、結果的に陽圧制御が微妙で差圧が安定しない状況であった。今回第7調剤室を改修するに当たってクラスター型工程配列製造工程群を採用することにより第7調剤室が前室を介して中央通路を接することから第7調剤室内の差圧調整は難しくなく、雰囲気管理が十分にできることから隣接する従来型の折衷型工程配列の諸室群とのクロスコンタミを回避でき、またクラスター型工程配列では側路を介した一連の作業工程のため、従来型諸室群との製造工程上の動線交錯も回避できた。

日本薬品工業製造によるジェネリック医薬品のうちもっとも標準的な製剤工程の生産装置によるクラスター型工程配列としたことから、第7調剤室は現在稼働率がもっとも高い製造工程室となっている。しかしながら、クラスター型工程配列では同一生産装置であってもクラスターが違えば新たにもう一台装置を設置しなくてはならない。同じ装置は共有したいとの要望が満たされないことから本格的かつ全面的なクラスター型への移行はすぐには難しいが、多品種少量生産、クロスコンタミ回避等品質確保の面でジェネリック医薬品製造に適すと考える。

第7調剤室の実績が評価されて折衷型工程配列からクラスター型工程配列へ切り替える製造工程群が増えてきている。タイミングよく本格的な次期製造工場であるつくば工場3号棟を建設する運びとなった。



写真5-1 つくば工場全貌 [手前から1号棟、2号棟、3号棟]  
 [写真提供：日本薬品工業株式会社]

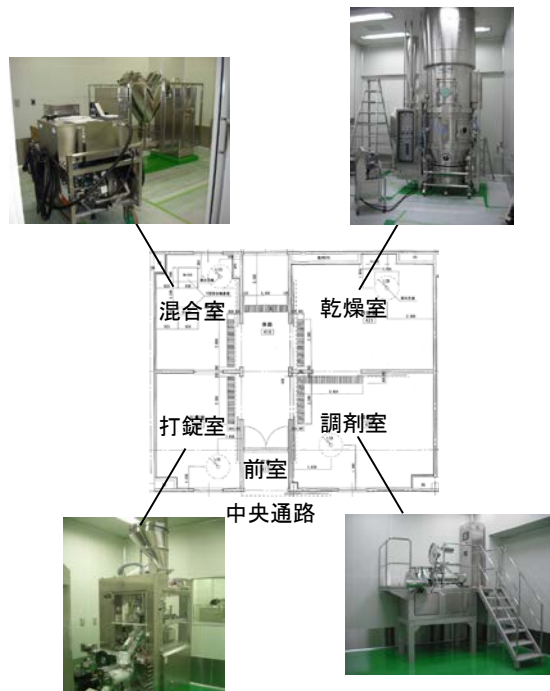


写真5-2 つくば工場2号棟クラスター設置改修工事  
 [写真提供：日本薬品工業株式会社]

### 5-3-2 日本薬品工業つくば工場3号棟

前実践例に隣接するクラスター型工程配列を採用したジェネリック医薬品製造工場である。(参照：写真5-3、写真5-4)

施主の強い要請から基礎免震構造が採用されており、製剤包装一貫工場として我が国ではじめてと言える事例である。基礎免震構造には見学スペースがあり、設置された免震デバイス(積層ゴムアイソレータ+すべり支承ダンパー)を目視できるほか、水平方向の地震動が円盤上に罫書きされる装置も設置されている。

クラスター型工程配列を積極的に採用した工場である。段階的に生産装置を設置する計画であり、1期では1階を建築工事、建築設備工事ともに完了し、生産装置も実装しているが、2階は将来の拡張に備えてスペースを確保するにとどめて、内装工事、建築設備工事を未了としている。将来2階の建築工事として大量に水を使い、養生期間の必要なコンクリート工事を1期で済ませているため、2階実装工事中に下階へ漏水するおそれが回避でき、また工期の短縮も図れる。

製造工程は製剤と包装との大きく2つの工程からなる。クリーン度も従業員も異なることからそれぞれに更衣室を設置して、工程間にはA/Sが設置されている。既存工事ではコーティング工程が防爆構造であったが、今回は防爆構造の部屋はなく、一部防爆構造になっている装置を設置している。将来1つの生産品のみを製造する専用生産装置工程群は折衷型工程配列を前提としたスペースを確保したが、その他は基本的にクラスター型工程配列の生産装置群である。

製造工場に隣接して資材及び製品保管のための倉庫棟がある。この建物は耐震設計によるものであり、免震構造の製造工場とは既製品のエキスパンション・ジョイントで接続している。地震時に3次元震動による変位ギャップを吸収できるもので、列車の連結部と異なり、しっかりとした内装仕上げ鋼板があるため複雑な構造となっている。



写真5-3 つくば工場3号棟外観 [手前は2号棟]  
[写真提供：日本薬品工業株式会社]



写真5-4 つくば工場3号棟製剤工程中央通路  
[写真提供：日本薬品工業株式会社]

## 第6章 多重防御設計のための設計デバイスの開発研究

本章では生産等施設におけるクリーン度確保のための多重防御を、より合理的に構築するための設計デバイスとして「クリーンルームの二重防御機能を付与するペリメータ壁」の研究成果と実践例を述べる。

### 6-1 クリーンルームの二重防御機能を付与するペリメータ壁の開発研究

#### 6-1-1 研究の背景と目的

高い清浄度と温湿度管理が要求されるクリーンルームを外部からの粉塵、昆虫等の汚染物質や環境熱負荷等の侵入から守るためにこれまでクリーンルームをリターン・エア・シャフト、装置搬出入通路、保守通路のほか、見学通路や単なる通路で囲う設計が一般的に行われてきた。クリーンルームを直接仕切る壁（一重目の防御）とは別に外周に管理された独立空間（二重目の防御、以下ペリメータ空間と呼ぶ）を設けて二重防御（ダブルコンテインメント）を確保するためである。

このペリメータ空間は概して費用対効果の面で必ずしも最適解ではない場合も多く、設備投資上重荷になっている。むしろ単なるペリメータ空間は排除する傾向にある。そこでできるだけ建設費を抑えながら生産エリアを有効に使用し、合理的に二重防御を確保する手段としてペリメータ空間機能を付与した軽鉄間仕切壁（以下ペリメータ壁という）の可能性は充分にあり、その技術的手法の開発および研究を行なった。

クリーンルーム生産エリアの従来型のペリメータ空間計画概念を図6-1に示す。このペリメータ空間への基本的な要求機能は、万一外壁から粉塵等が進入した場合にペリメータ空間内で阻止しクリーンルームへの侵入のおそれを軽減すること、二次的には外壁から侵入する環境負荷をペリメータ空間で吸収し、クリーンルームへの影響を回避すること等で、生産施設全体が管理されていることである。ペリメータ空間にクリーンルーム生産エリアと同等の性能を要求するものではない。

ペリメータ壁計画概念を図6-2に示す。ペリメータ壁内の換排気および空調設備システムはクリーンルームからのリターンエアをトランスファー（遷移）利用し大気へ放出することで確保する。前者で侵入粉塵等除去機能と侵入負荷緩和効果を、また後者でペリメータ壁内を常にクリーンルーム生産エリアに対して負圧に保ちペリメータ壁からクリーンルーム生産エリアへの粉塵等の逆流を防止する。本報は既報「ペリメータ機能を付与した軽鉄間仕切の実験的研究」（その1）<sup>44)</sup>、（その2）<sup>45)</sup>後の追加試験および気流解析結果等を取りまとめたものである。



### 6-1-2 既往の研究

クリーンルームをペリメータ空間で囲う必要性と具体的な設計事例を提示した研究<sup>43)</sup>、<sup>32)</sup>、<sup>35)</sup>、<sup>37)</sup>、<sup>41)</sup>、<sup>42)</sup> は多くあるが、ペリメータ空間を合理的に設計する研究は見られない。岩村、加藤、三宅らの「ケミカルハザード対応クリーンルームの開発」<sup>46)</sup>、<sup>47)</sup>、<sup>48)</sup> は壁天井がスチールパーティションで構成され、その内部をケミカルハザード形成のためのエアシャフトとして利用している。壁体内部を気道として利用する点では本研究に類似するが本論のように外壁に対するクリーンルームの二重防御とするものではなく研究の目的が異なる。

### 6-1-3 研究の方法

既報縮小モデル予備試験（その1）<sup>44)</sup>（その2）<sup>45)</sup> のほか同製薬工場新築工事現場での実規模試験と医療機器製造工場新築工事現場での実施工試験の3シリーズ5試験体を対象としたモデル試験による実験的研究をもとに、ペリメータ壁内の軽鉄下地材の開孔設計および開孔部に必要な面速さらに排風機設計等実践的な提案をした。併せて実施工試験体を模した解析モデルによる気流速度、気流方向解析を行い、試験結果と比較検討するとともにペリメータ壁の外部負荷除熱効果について定量的評価を行った

### 6-1-4 ペリメータ壁の概念

クリーンルームのペリメータ空間を構成する要素として上述のように一般室間を仕切るために利用する軽鉄下地間仕切壁を一部改造したペリメータ壁を利用する。ペリメータ壁1単位の計画図を図6-3に示す。外壁の室内側には通常内装仕上げが施されるがこの内装仕上げを利用してクリーンルームとペリメータ空間との間の二重防御壁を構築するものである。ペリメータ壁軽鉄下地図およびペリメータ壁部材構成図を図6-4、図6-5に示す。なお、この軽鉄下地はJIS A 6517で規定されている一般的な建築資材である。

ペリメータ壁の部材構成は図6-4のように一般的な軽鉄間仕切壁下地組みと同様に各上下縁水平にランナー（[-102×40×0.8]）を設け、ランナー間に建てこむ形で鉛直にスタッド（[-100×45×0.8]）を450mm～455mmピッチで取り付ける。さらに振れ止め（[-25×10×1.2]）が下から1200mmピッチでスタッドを貫通する形で水平に取り付く。図6-4中a、bの2種類のスタッドの開孔形状を図6-5に示す。スタッドaは既製品そのままの開孔形状（振れ止め孔42mm×60mmのみ）であるが、スタッドbは最下部に新トンネル孔（45mm×80mm）と1200mmピッチの振れ止め孔間に400mmピッチで新開孔2つ（φ45mm）の2種類を穿孔する。この新開孔は現場で加工できる程度の大きさである。

このような部材構成のもとにペリメータ壁内部空間の換気システムとして第3種換気(強

制排気、自然給気)を採用する。基本的に給気はクリーンルーム室内からのトランスファーで、排気は大気放出である。これはペリメータ壁内部をクリーンルームに対して絶えず負圧に維持し、ペリメータ壁からクリーンルームへの漏気、塵埃の侵入を防止するためである。

#### 6-1-5 実験的研究

##### 6-1-5-1 予備試験による実験的研究成果

すでに発表した既往の実験的研究(その1)<sup>44)</sup>、(その2)<sup>45)</sup>でペリメータ壁の基本的な性能要求とそれを満たす諸条件を明確にした。

- (1) ペリメータ壁内除塵のための気流は上部ランナーの一端強制排気、他端自然給気の第3種換気水平流が適する。
- (2) 軽鉄下地スタッドに開孔を設けることで開孔部水平流(ジェット流)が形成される。さらにこの水平流に挟まれたスタッド鉛直開孔間(以下、グリッドと呼ぶ)内で渦型気流が発生する。
- (3) スタッド開孔部面風速が平均で5m/sあれば除塵効果が期待できる。

##### 6-1-5-2 スタッド開孔設計方針

- 1) 穿孔によりスタッドの強度を過度に低下させないため、新開孔はスタッド幅100mmの1/2以下の45φとする。
- 2) スタッド新開孔ピッチは振れ止めピッチの1/3で、スタッド建込みピッチである@450mm~455mmとほぼ同じ間隔@400とする。これによりグリッドがほぼ正方形となりグリッド内に渦形気流が得られる。
- 3) スタッド最下部は下部ランナー内に沈積する粉塵等を除去するため幅45mm高さ80mmの新トンネル孔を穿孔する。

##### 6-1-5-3 予備試験、実規模試験、実施工試験

予備試験2体[N455S、N455L]のほか実規模試験2体[N637S、N637L]、実施工試験1体[T790C]の計5体に対して実験した。表6-1に試験体一覧表に示す。図6-3に示すように試験体幅は躯体柱内法スパンに合わせ、試験体高さは天井内で給排気ダクトが接続可能な高さとした。

実験用内装材には空洞内部の気流が計測でき、気流形状が可視できるよう透明なビニールまたはアクリル板を用いた。風速測定は実験用内装材に孔を明けプローブを差し込んでプローブと孔の間隙をテーピングして行った。写真6-1に風速計を示す。

試験体開孔仕様と開孔率は表6-2の通りである。各試験体とも共通して1,200mmピッ

チの振れ止め孔間に 400mm ピッチで 2 つの 45mm φ 新開孔を穿孔した。図 6-6 にスタッド列開孔行番号一覧を示す。

#### 6-1-5-4 実験結果

##### (1) 除塵性能結果

除塵結果を図 6-7 に示す。概ね良好であったが N637S の風速はやや不足であった。

##### (2) スタッド開孔部面速測定結果

スタッド開孔部面速測定結果を表 6-3 の通りである。実測値平均は 4.06m/s~5.86m/s で前項除塵性能結果から N637S の除塵性能が不十分であることから除塵性能閾値を 5.0m/s と設定する。また表 6-3 では給排気風量をスタッド開孔面積で除したスタッド開孔部単純平均水平面速を計算した。この面速の計算値/実験値の比率はスタッド本数とともに増加している。この関係を 2 次関数で近似した結果は図 6-8 の通りである。図中の近似式にて補正した結果を表 6-3 に示す。スタッドが 12 本を境にして多くなればなるほど補正係数は 1.0 を超えスタッド開孔部実測平均面速は単純計算値より小さくなる結果となる。スタッド本数を 12 本より少なくしてペリメータ壁幅を概ね 6m より狭くすることが効率的である。もっともペリメータ壁の個数が増えると必ずしも経済的とは言えない。T790C では排気ダクトを中央に、左右給気ダクトを両端部に接続することによりペリメータ壁 1 単位が排気ダクトを共用する実質 2 単位のペリメータ壁とっている。その結果 1 単位のスタッド本数を 9 本に低減でき合理的な設計としている。

##### (3) 給排気ダクト風量

表 6-4 に給排気ダクト断面 5 か所での風速測定結果を示す。ダクト断面平均風速から給気ダクト、排気ダクト風量と給排気ダクト平均風量を計算した。N637S と T790C は給気風量と排気風量の比率が 0.95、0.92 とほぼ同等であったが N637L は 0.65 で N637S と同一試験体だが漏気があった。ところでペリメータ壁の外壁側には軽鉄下地材との密着性を確保するためプラスターボードを張るが、外壁が出来てからの施工のために軽鉄下地へのビス止めができない。そのため外壁側プラスターボードとスタッドとの密着性は期待できない。外壁側プラスターボードの貼り付け方法が課題である。なお、N455S、N455L は給排気ダクト内測定が不完全であったため表 6-3 のスタッド開孔部平均面速から風量算出した。

#### 6-1-6 ペリメータ壁の設計手法

##### 6-1-6-1 ペリメータ壁 1 単位の設計式

上述の実験結果を受けてペリメータ壁の設計手法を検討した。

##### (1) 除塵効果を得るに必要な排気風量計算

表 6-3、図 6-7 から除塵効果が得られるスタッド開孔部面速を 5.0(m/sec)とする。

この面速を代表風速としてスタッド開孔面積との積に補正係数を乗じたものを必要排気風量とする。

$$V_s = \alpha \cdot v_v \cdot A_v \quad \dots \dots (1)$$

ここに、

$V_s$  : 必要排気風量 [m<sup>3</sup>/h]

$v_v$  : スタッド開孔部必要面速 [5.0m/s]

$A_v$  : スタッド開孔部面積 [m<sup>2</sup>]

$\alpha$  : スタッド本数による補正係数 (図6-8による)

$$\alpha = 0.0049x^2 + 0.0226x \quad \dots \dots (2)$$

ここに、

$x$  : スタッド本数

## (2) 給排気システムの局部抵抗計算

局部抵抗を下記3つの要素から計算する。

- i) 連続するスタッド開孔による局部抵抗
- ii) 給排気ダクト接続部の局部抵抗
- iii) 気流屈曲による局部抵抗

### i) 連続するスタッド開孔による局部抵抗

ペリメータ壁の水平気流状況を直接取り扱った研究は見られないがダクトの局部抵抗算定式に「急拡大」、「急縮小」の事例<sup>49)</sup>、<sup>50)</sup>がある。図6-9、図6-10は事例に示された両ケースの局部抵抗係数表をもとに筆者が2次関数で近似式を求めたものである。ダクトのベント、分岐管その他の異形部分に生ずる局部抵抗は下式により表される。

$$\Delta P_d = \zeta \cdot p_v \quad \dots \dots (3)$$

$$p_v = \gamma v^2 / (2.0 \cdot g)$$

$$= 0.0612v^2 \quad \dots \dots (4)$$

ここに、

$\Delta P_d$  : 局部抵抗 [mmAq]

$\zeta$  : 局部抵抗係数

$p_v$  : 速度水頭 [mmAq]

$\gamma$  : 空気の比重量 [≒1.20kgf/m<sup>3</sup>]

$v$  : 代表風速 [m/s]

$g$  : 重力の加速度 [≒9.80665m/s<sup>2</sup>]

スタッド開孔部局部抵抗を(3)式、(4)式から求める。

急拡大、急縮小の局部抵抗係数 $\zeta_1$ 、 $\zeta_2$ は図6-9、図6-10の近似式から下式により求められる。

$$\zeta 1 = -1.5x^2 - 0.55x + 0.81 \quad \dots (5)$$

$$\zeta 2 = -0.5x^2 - 0.05x + 0.35 \quad \dots (6)$$

$$x = A2/A1 \quad \dots (7)$$

ここに、

A1 : 広い側の気流断面積 [m<sup>2</sup>]

A2 : 狭い側の気流断面積 [m<sup>2</sup>]

ペリメータ壁内部空間の気流をスタッド開孔部とスタッド間グリッドでの急拡大と急縮小の組み合わせの繰り返しと見なすとスタッド開孔部局部抵抗係数 $\zeta 0$ は(8)式で表せる。

$$\begin{aligned} \zeta 0 &= \zeta 1 + \zeta 2 \\ &= -2.0x^2 - 0.60x + 1.16 \quad \dots (8) \end{aligned}$$

$\zeta 0$  : スタッド1本あたりのスタッド開孔部局部抵抗係数

x : スタッド開孔率

以上からペリメータ壁1単位のスタッド局部抵抗合計は(9)式で表される。

$$\begin{aligned} \Delta P_s &= n \cdot \zeta 0 \cdot p_v \\ &= n \cdot (-1.5x^2 - 0.60x + 1.16) \cdot 0.0612v^2 \quad \dots (9) \end{aligned}$$

ここに

$\Delta P_s$  : ペリメータ壁1単位のスタッドによる局部抵抗合計 [mmAq]

なお、1mmAq  $\doteq$  9.80665Pa

n : ペリメータ壁1単位あたりのスタッド本数

**表6-5**に計算結果を示す。各試験体のスタッド局部抵抗合計は 144Pa~272Pa となった。

#### ii) 給排気ダクト接続部の局部抵抗計算

スタッド開孔の局部抵抗計算と同様に計算した結果を**表6-5**に示す。1.54Pa~2.26Pa となった。

#### iii) 気流屈曲による局部抵抗計算

**図6-9**、**図6-10**と同様に事例の長方形断面、突き付けエルボの局部抵抗係数表を参照した。90°屈曲ダクト辺長比別係数局部抵抗係数表及びそれを基にした筆者による近似曲線を**図6-11**に示す。近似式は下式の通りである。

$$\zeta 3 = 0.0165x^2 - 0.1694x + 1.3469 \quad \dots (10)$$

ここに、

$\zeta 3$  : 気流屈曲による局部抵抗係数

x : ダクト断面辺長比

各数値計算結果は**表6-5**の通りで、合計 2.95Pa~15.3Pa となった。

#### iv) 局部抵抗全体集計

上述 3 つの計算からペリメータ壁全体の局部抵抗を表 6-5 に示す。各試験体計算結果は 149Pa～282Pa となった。これをペリメータ壁の静圧と考える。なお、スタッド開孔部の局部抵抗が大きく、給排気ダクト接続部局部抵抗は無視し得る程度となっている。

#### 6-1-7 解析モデルによる気流解析

##### 6-1-7-1 解析モデルと解析条件

実施工試験体 [T790C] について図 6-12 に示す解析モデルと表 6-6 の解析条件により気流解析を行った。

##### 6-1-7-2 解析結果

図 6-13 に実測値と解析値をプロットした。全般的に実測値は解析値を上回っている。スタッド 1 列目の誤差が大きい。下降鉛直流から右方向水平流へ屈曲するところの測定でありスタッド開孔部実測位置がわずかにずれても大きく変動する領域であることに起因していると推定する。図 6-14、図 6-15 に流速コンターと流速ベクトルを示す。図 6-14 からスタッド開孔部で水平ジェット流が形成されていることが分かる。また下部新トンネル孔では面速が上部より 30%程高く下縁ランナーに堆積する粉塵除去作用が発現していることが伺える。図 6-15 により水平流とスタッド挟まれたグリッドに渦形の気流が形成されていることが分かる。またスタッド両端部スタッド間では鉛直流がほぼ均等に形成されており、続く水平流もスタッド開孔部間でほぼ一様に流れている。

##### 6-1-8 ペリメータ壁による外部負荷除熱効果試算

実施工試験体 T790C について日本国内 (大阪) での外部負荷条件のもとでクリーンルームの室温 25℃の空気をペリメータ壁内部に給気した場合にペリメータ壁の内部温度上昇がどの程度低減されるか試算する。設計実務レベルでの設計手法<sup>5 1)</sup>、<sup>5 2)</sup>を参考とした。図 6-16 に T 7 9 0 のペリメータ壁構成を示す。また、熱貫流率等を表 6-7 に示す。ここで壁体熱貫流負荷は下記基本式による。

$$q_n = K \cdot A \cdot ETD_n \quad \cdot \quad \cdot \quad \cdot \quad \cdot \quad (11)$$

ここに、

$q_n$  : 壁体熱貫流負荷 [W/m<sup>2</sup>]

$K$  : 壁体熱貫流率 [W/(m<sup>2</sup>・K)]

$A$  : 壁体の面積 [m<sup>2</sup>]

$ETD_n$  : 実効温度差 (日射を考慮した温度差) [℃]

基本式(11)を適用するに当たり文献 5 1) の壁タイプ : IV、地区 : 大阪、方位 : E, ESE、室温 : 26℃の表を参照し、室温 25℃での実効温度差は 13℃と算出できる。これにより壁体熱貫流負荷は下記となる。

$$q_n = 1.13 \times (3.95 \times 4.25) \times 13$$

$$=247 \text{ [W]} =212 \text{ [kcal/h]} \cdot \cdot \cdot (12)$$

一方外部からの壁体熱貫流に対するペリメータ壁内への給排気風量による除熱効果は下式により算定できる。

$$t_2 = t_1 + qn / (Q \cdot CP \cdot \gamma) \cdot \cdot \cdot (13)$$

ここに、

$t_1$  : ペリメータ壁給気温度 [°C]

$t_2$  : ペリメータ壁排気温度 [°C]

$Q$  : ペリメータ壁給排気風量 [m<sup>3</sup>/h]

$CP$  : 空気比熱 [1.0kJ/kg・°C、0.24kcal/kgf・°C]

$\gamma$  : 空気の比重量 [ $\approx$ 1.20kgf/ m<sup>3</sup>]

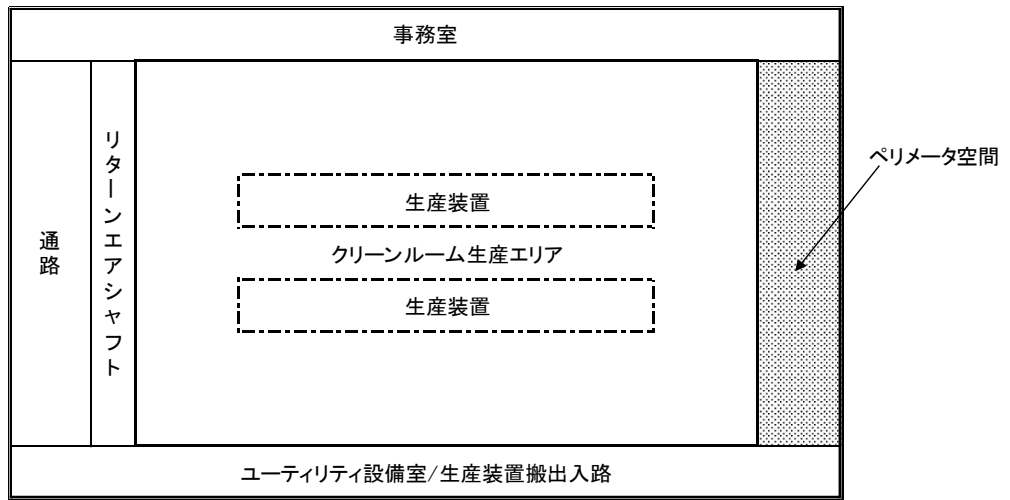
T790C ではペリメータ壁内に給気される空気はクリーンルーム室内空気  $t_1=25^\circ\text{C}$  で風量が  $Q=318\text{m}^3/\text{hr}$  であることから、

$$t_2 = 25 + 212 / (318 \times 0.24 \times 1.2) = 27.3 \text{ [}^\circ\text{C]} \cdot \cdot \cdot (14)$$

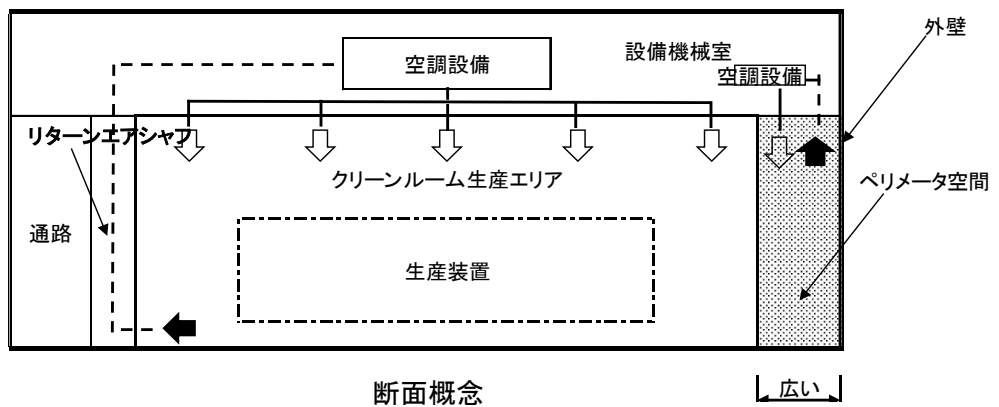
排気温度は給気温度  $25^\circ\text{C}$  から  $2.3^\circ\text{C}$  程しか上昇しない。つまり実効温度差が  $13^\circ\text{C}$  で通常温度差に換算して  $38.0^\circ\text{C}$  の外部熱負荷を考慮してもペリメータ壁内部空間を  $27.3^\circ\text{C}$  まで除熱できており、クリーンルームへの外壁熱貫通負荷を大幅に低減している。除塵効果とともに除熱効果も十分期待できると言える。

#### 6-1-9 まとめ

提案したペリメータ壁について各種モデル実験及び結果分析、ペリメータ壁概略設計手法検討、モデル気流解析を行った。実施工試験体 [T790C] についてこれらの結果を表 6-8 に示す。実験値 (実験結果)、計算値 (数値計算結果)、解析値 (気流解析結果) の相対比率は給気ダクト風量で 0.81~1.07、排気ダクト風量で 0.80~1.00、スタッド開孔部平均面速で 0.88~1.08 となり、また排気ダクト静圧は今回実験では計測されていないが計算値と解析値の比率が 0.96 であり、3つの各研究成果はほぼ工学的な範囲で同等な結果を与えている。したがって、本研究で提案したペリメータ壁の設計および設計手法の有用性が確認されたものとする。また外壁側からの熱貫流負荷に対して十分な除熱効果も期待できることが明らかになった。



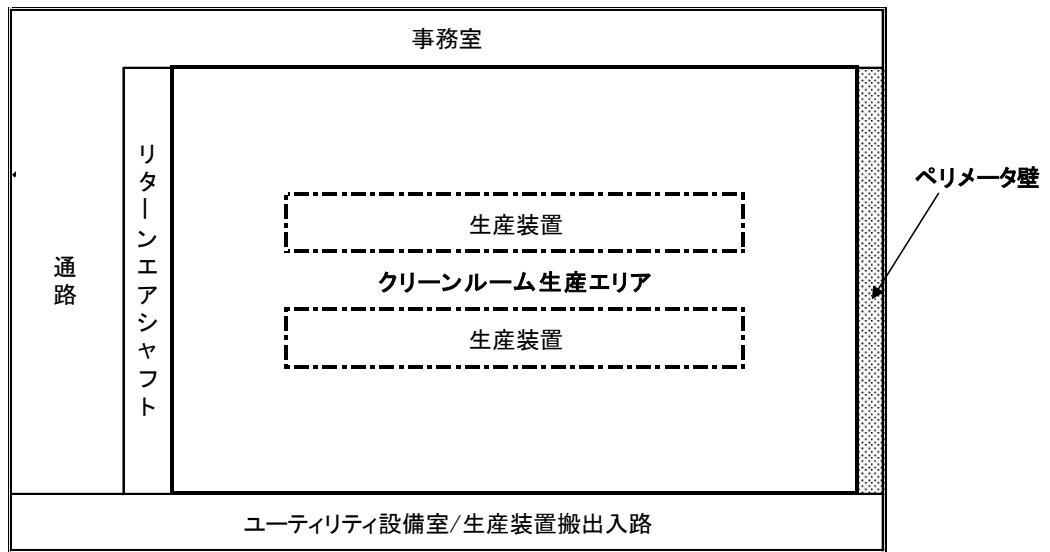
平面概念



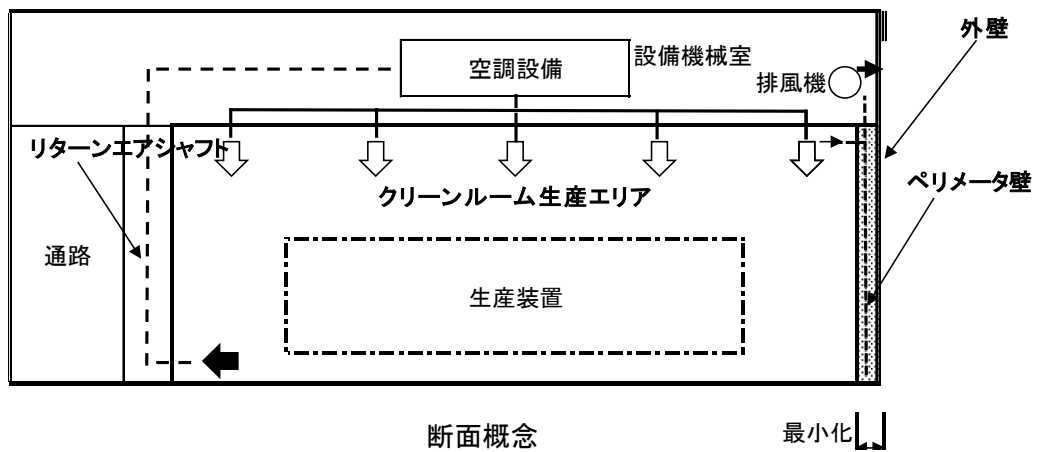
断面概念

図6-1 従来型のペリメータ空間設計概念



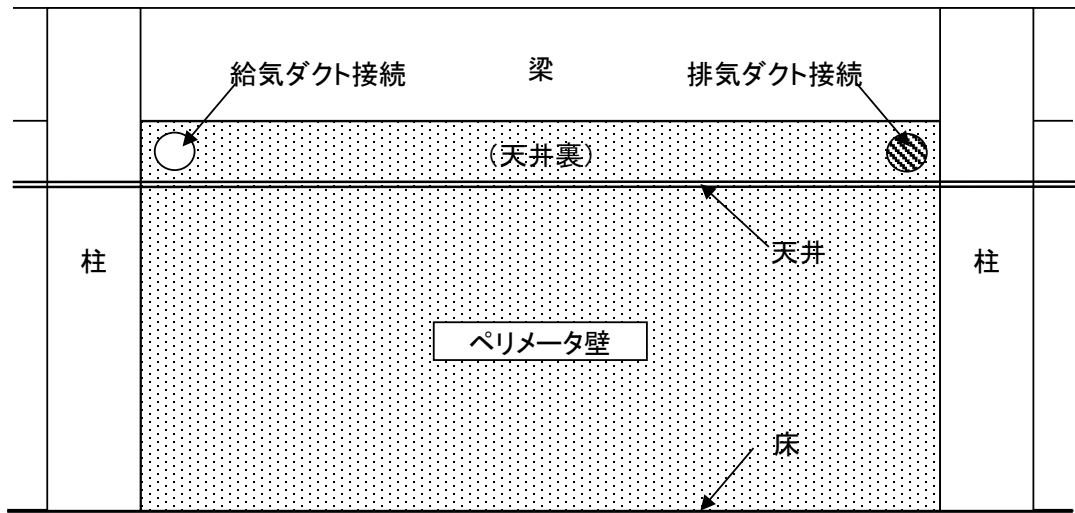


平面概念

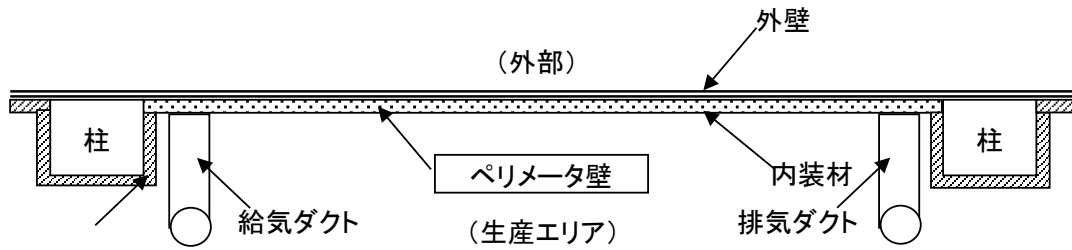


断面概念

図6-2 今回提案されたペリメータ壁設計概念



ペリメータ壁展開図



ペリメータ壁平面図

図6-3 ペリメータ壁計画図

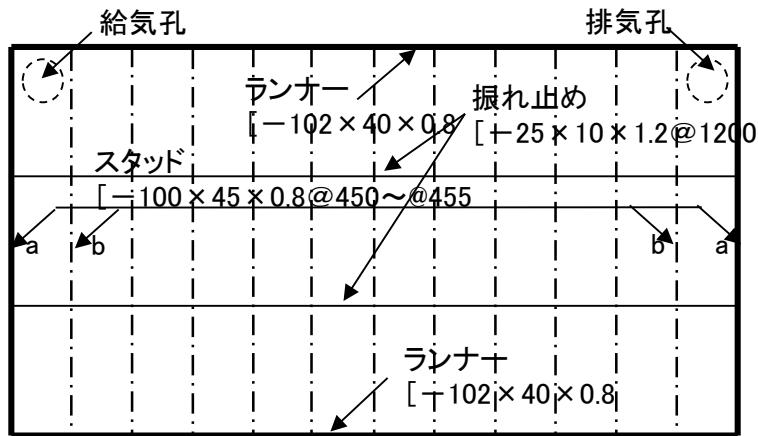


図 6-4 ペリメータ壁軽鉄下地図

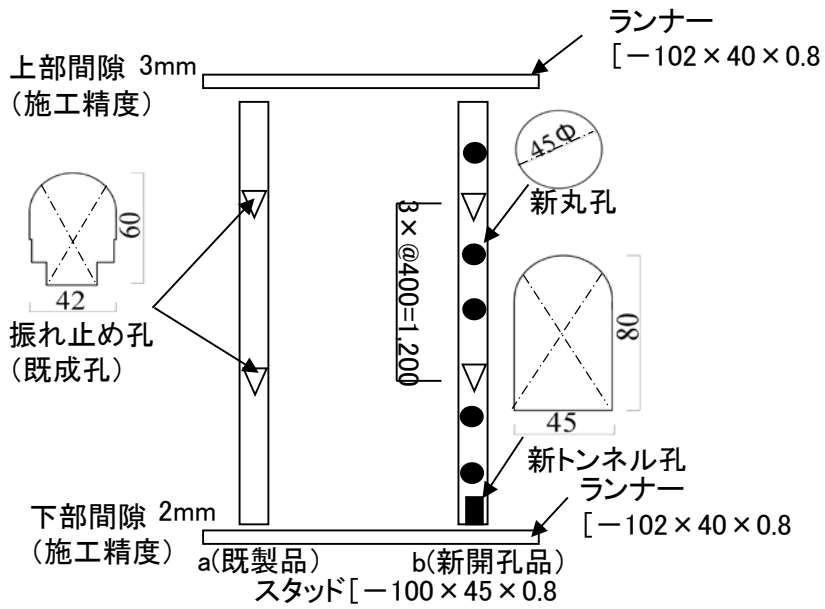


図 6-5 ペリメータ壁軽鉄下地及び開孔形状図

表 6 - 1 試験体一覧表

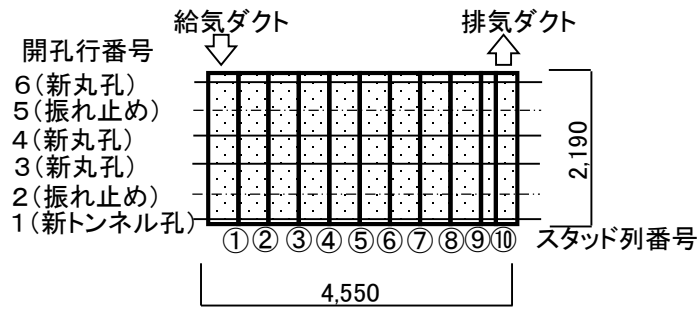
呼称	壁寸法	建物構造 用途	外装仕様	実験用 内装材	スタッド本数ピッチ  [-100X45X0.8	実験用排風機
	(幅×高さ)					
N455S N455L	4,550×2,190	軽量鉄骨パネルプレハブ造 試験用モデル (建設現場仮設事務所会議室)	軽鉄パネル (間仕切壁)	ビニルシート (t=1.0)	8@455+1@300+1@155=10本	軸流ファン (20CMH×150Pa×1台) (1000CMHX50PaX1台)
N637S N637L	6,370X3,250	鉄骨造 試験用モデル (実施工製薬工場倉庫内仮設 壁)	プラスターボード 軽鉄間仕切壁 (試験用仮設間仕切壁)	アクリル板 (t=5.0)	13@455=13本	建屋換気設備余剰空気 (380m3/hr) (700m3/hr)
T790C	3,950x4,250 2面・線対称	鉄筋コンクリート造 実施工外壁 (医療品工場生産エリア)	鉄筋コンクリート外壁 +吹付断熱材 +プラスターボード (実施工外壁)	ビニルシート (t=2.0)	8@450+1@250=9本	軸流ファン (720CMHX30PaX2台直列)



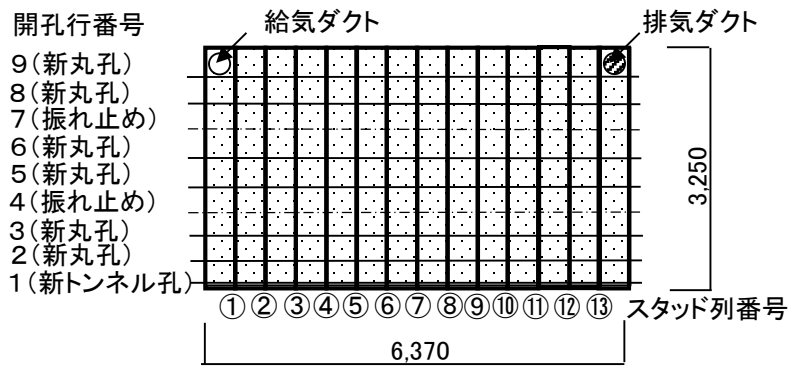
写真 6 - 1 風速計 (カノマックス製)

表 6 - 2 試験体開孔仕様と開孔率

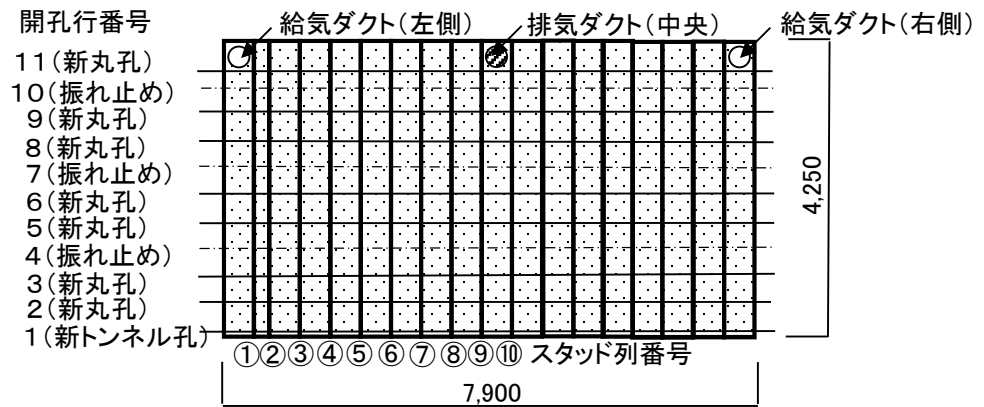
試験体	ペリメータ壁 幅×高さ	スタッド 幅×高さ	スタッド 見付面 積 (m <sup>2</sup> )	振れ止め孔 (0.00202m <sup>2</sup> /個)		新トンネル孔 (0.00340m <sup>2</sup> / 個)		新丸孔 (0.00159m <sup>2</sup> /個)		上下施工誤差 (上間隙:3mm) (下間隙:2mm)		開孔合 計 (m <sup>2</sup> )	開孔率 (%)
				個数	開孔面積 (m <sup>2</sup> )	個数	開孔面積 (m <sup>2</sup> )	個数	開孔面積 (m <sup>2</sup> )	個数	開孔面 積 (m <sup>2</sup> )		
N455S N455L	4,550×2,190	100×2190	0.219	2	0.00404	1	0.00340	3	0.00477	1	0.0005	0.0127	5.80
N637S N637L	6,370×3,250	100×3250	0.325	2	0.00404	1	0.00340	6	0.00954	1	0.0005	0.0175	5.38
T790C	7,900×4,250	100×4250	0.425	3	0.00606	1	0.00340	7	0.01113	1	0.0005	0.0211	4.96



予備試験体 N455S N455L



実規模試験体 N637S N637L



実施工試験体 T790C

図 6-6 試験体寸法とスタッド列開孔行番号一覧表

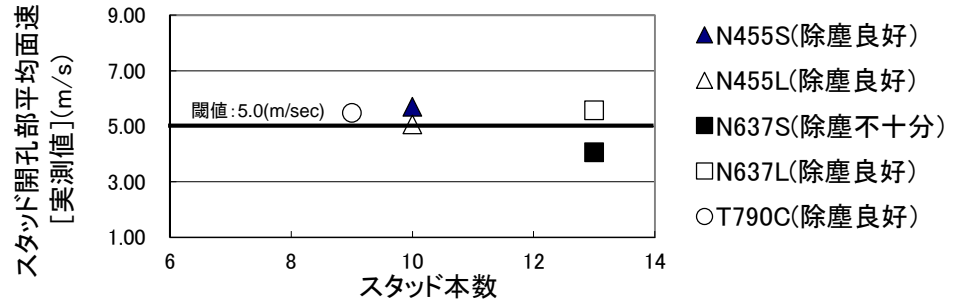


図6-7 スタッド開孔部平均面速 [実測値] と除塵効果

表6-3 スタッド開孔部面速計算一覧

試験体呼称	スタッド列番号				スタッド開孔部 水平風速 実測値平均 (m/sec) A	給気量 計算値 (m3/sec) B	排気量 計算値 (m3/sec) C	風量実測値 比率 (給気量 /排気量) D=B/C	排気量給気量 実測値平均 (m3/hr) E=(B+C)/2	スタッド 開孔面積 計算値 (m2) F	スタッド開孔部 平均水平風速 単純計算値 (m/sec) G=E/F	スタッド開孔部 平均水平風速 比率 (実測値 /単純計算値) H=A/G	スタッド本数 I	スタッド本数 による補正係 数 J	スタッド開孔部 平均水平風速 補正結果 (単純計算値 /補正係数) K=G/J	
	スタッド列 数	開孔部風速実測値(m/sec)														
N455S	スタッド列 数	1	5	8	5.70	261	261	1.00	261	0.0171	4.24	1.344	10.00	0.72	5.92	
	開孔 行数	9	6.00	6.30												5.90
		6	5.70	5.10												5.20
		2	5.70	5.40												5.80
		1	4.80	6.10												6.40
開孔列平 均	5.55	5.73	5.83													
N455L	スタッド列 数	1	5	8	5.86	268	268	1.00	268	0.0171	4.35	1.346	10.00	0.72	6.08	
	開孔 行数	9	5.90	6.60												6.10
		6	5.50	5.20												5.70
		2	5.70	5.60												6.20
		1	5.10	6.10												6.60
開孔列平 均	5.55	5.88	6.15													
N637S	スタッド列 数	1	7	13	4.06	360	380	0.95	370	0.0240	4.28	0.947	13.00	1.12	3.82	
	開孔 行数	8	4.10	4.00												4.50
		6	4.00	3.50												4.10
		2	4.20	4.10												4.00
		開孔列平 均	4.10	3.87												4.20
N637L	スタッド列 数	1	7	13	5.57	456	699	0.65	578	0.0240	6.68	0.833	13.00	1.12	5.96	
	開孔 行数	8	5.90	5.00												5.50
		6	5.20	4.60												7.00
		2	5.50	5.30												6.10
		開孔列平 均	5.53	4.97												6.20
T790C	スタッド列 数	1	3	6	5.48	318	347	0.92	333	0.0296	3.12	1.755	9.00	0.60	5.20	
	開孔 行数	9	1.51	6.56												6.57
		6	2.10	6.50												6.63
		2	4.50	4.35												6.40
		1	3.24	7.38												7.73
開孔列平 均	2.84	6.20	6.83													

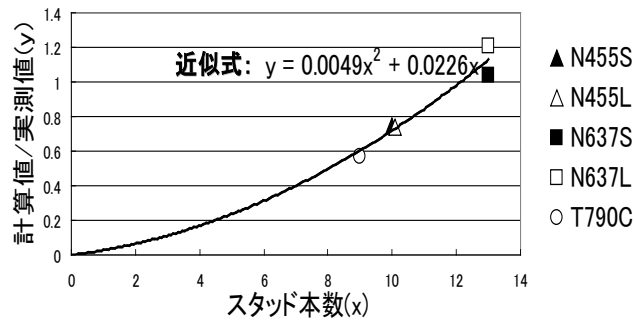


図6-8 スタッド本数によるスタッド開孔部面速補正係数 [計算値/実測値]

表6-4 給排気ダクト風量計算値

試験体呼称	N455S	N455L	N637S		N637L		T790C	
測定位置 (ダクト断面)	給排気ダクト90φ	給排気ダクト90φ	給気ダクト(左側) 200φ	排気ダクト(右側) 200φ	給気ダクト(左側) 200φ	排気ダクト(右側) 200φ	給気ダクト(左側) 300φ	排気ダクト(中央) 300φ
上	—	—	2.10	2.20	2.80	3.00	1.32	2.95
右	—	—	2.10	2.25	2.40	3.30	1.14	2.25
中央	—	—	1.90	2.10	2.50	4.50	1.36	2.00
左	—	—	2.10	2.10	3.00	4.20	1.19	3.19
下	—	—	2.00	2.10	2.20	4.80	1.25	3.25
平均	—	—	2.04	2.15	2.58	3.96	1.25	2.73
給排気ダクト風量 (m <sup>3</sup> /hr)	261* <sup>1</sup>	268* <sup>1</sup>	231	243	292	448	318	347(694)* <sup>2</sup>
ダクト平均風量 (m <sup>3</sup> /hr)	261	268	237		370		333	
給排気ダクト風量比率	1.00	1.00	0.95		0.65		0.92	

ダクト断面測定位



注) \*1 給排気ダクト内風速測定が不完全であったため「給排気ダクト風量=スタッド開孔面積×スタッド開孔部平均面速」と仮定した。  
\*2 「給気ダクト(右側)風量=給気ダクト(左側)風量」と仮定した。

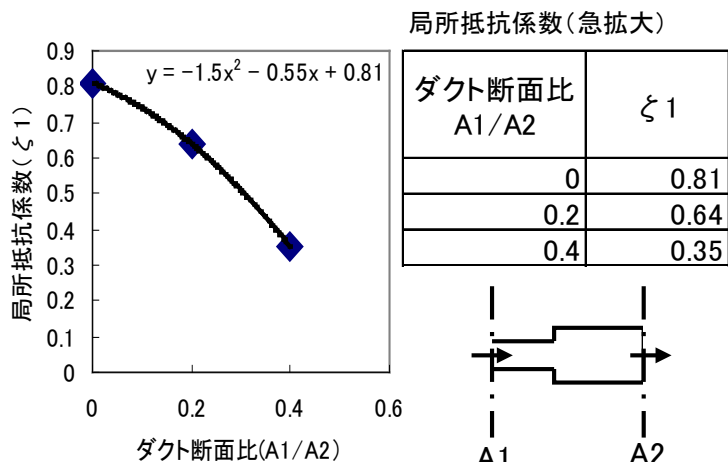


図 6-9 局所抵抗係数曲線 [急拡大]

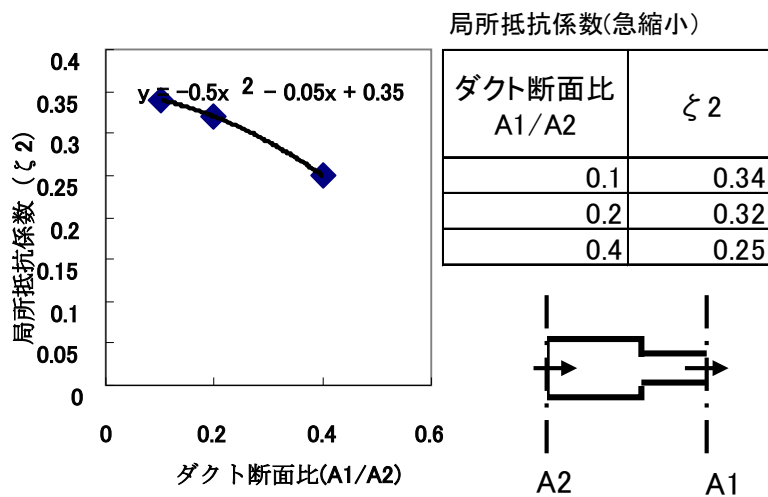


図 6-10 局所抵抗係数曲線 [急縮小]

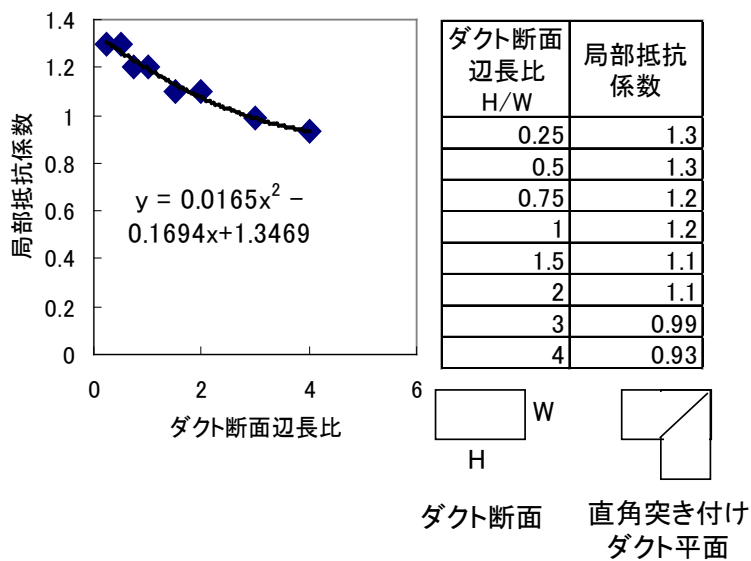


図 6-11 局所抵抗係数 [ダクト屈曲部]



表 6-5 ペリメータ壁内部気流局部抵抗合計

試験体 呼称	壁寸法 幅×高さ (mm)	スタッド 本数 (本)	スタッド 開孔部 局部抵抗 (Pa)	給排気 ダクト接続部 局部抵抗 (Pa)	気流 屈曲部 局部抵抗 (Pa)	ペリメータ 壁 内部気流 局部抵抗 合計 (Pa)
N455S	4,550×2,190	10	218	0.00	3.58	222
N455L	4,550×2,190	10	231	0.00	3.78	235
N637S	6,370×3,250	13	144	2.14	2.95	149
N637L	6,370×3,250	13	272	2.26	7.52	282
T790C	3,950×4,250 2面・線対称	9	183	1.54	15.32	200

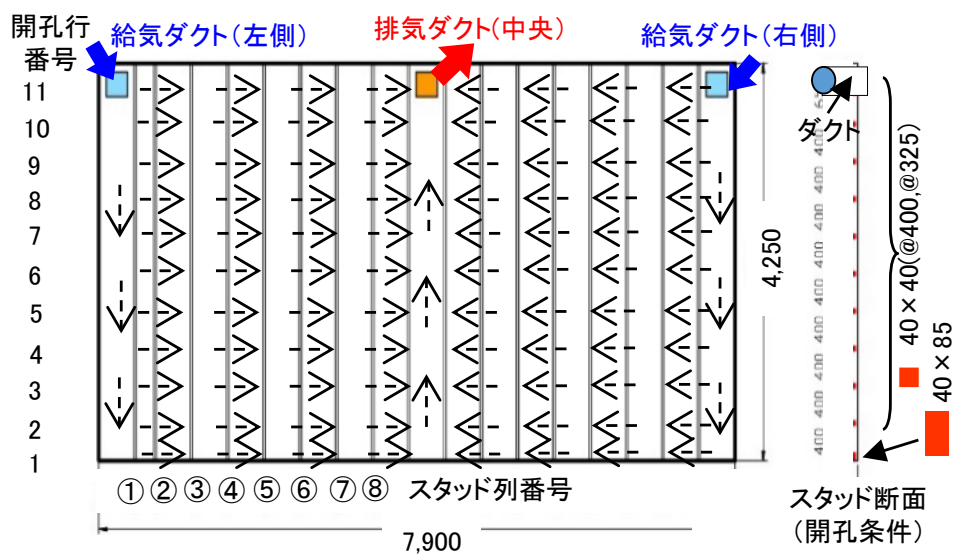


図 6 - 1 2 解析モデル立面図 [T790]

表 6 - 6 解析条件

使用コード	STREAM for Windws Ver8
解析領域	7.9m(X)×2.1m(Y)×4.25m(Z)
乱流モデル	標準k - ε モデル
メッシュ分割	1,024,000 (160(X)×40(Y)×160(Z))
壁面応力条件	一般化対数則

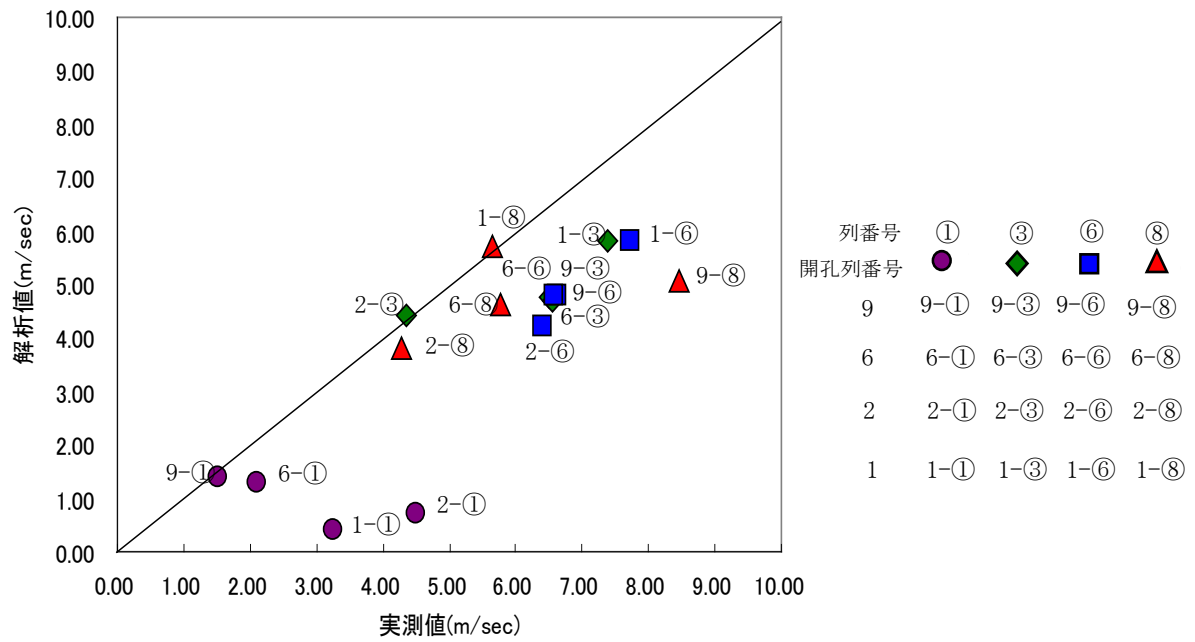


図 6 - 1 3 実験値/解析値 [スタッド各列開孔部面速]

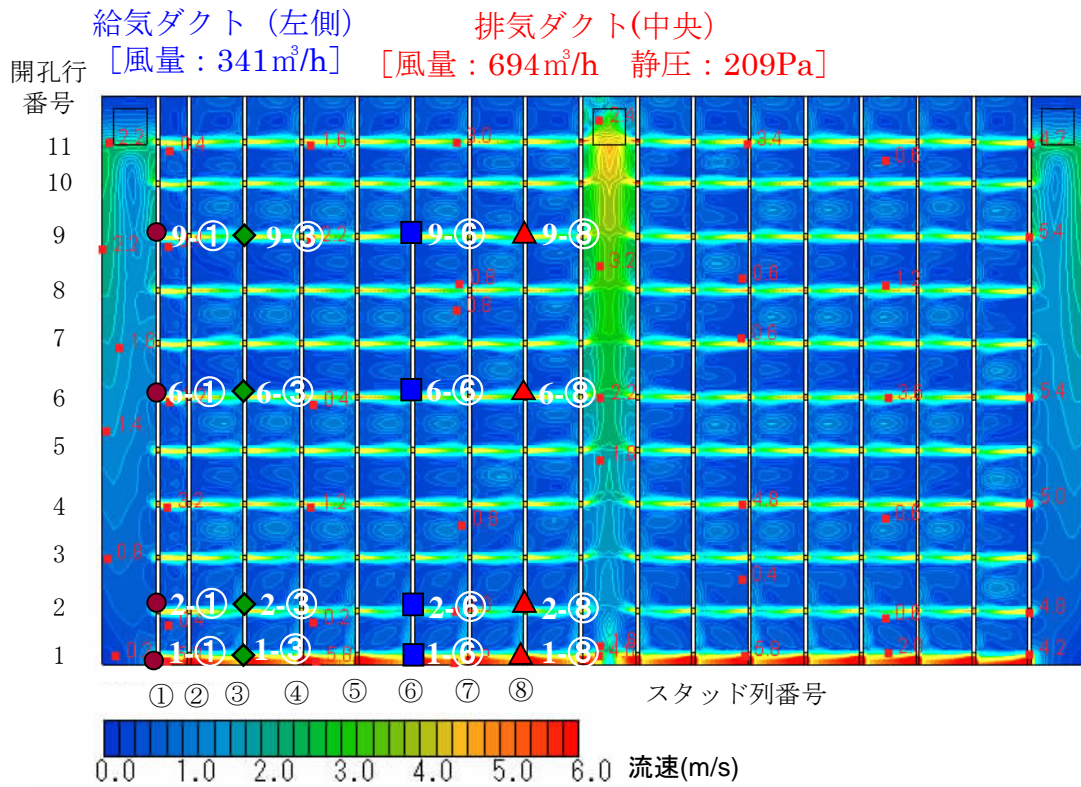


図6-14 流速コンター解析結果 [T790C]

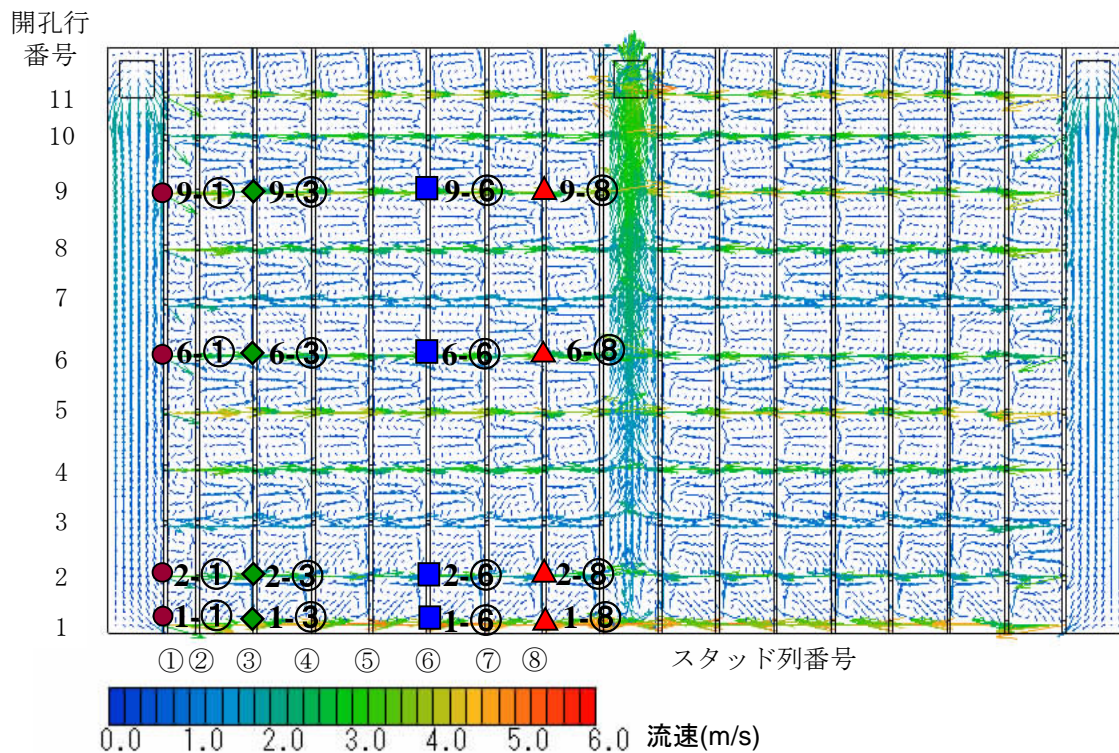


図6-15 流速ベクトル解析結果 [T790C]

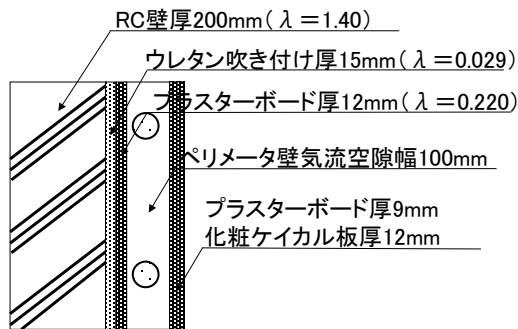


図 6 - 1 6 ペリメータ壁構成

表 6 - 7 ペリメータ壁熱貫流率

壁表面熱伝達	表面熱伝達率 $\alpha$ [W/( $m^2 \cdot K$ )]		表面 熱伝達抵抗 $R1$ [ $m^2 \cdot K/W$ ]	
	外表面	17		0.0558
内表面	9		0.111	
壁構成材熱伝導	熱伝導率 $\lambda$ [W/( $m^2 \cdot K$ )]	厚さ [m]	熱伝導 抵抗率 $R2$ [ $m^2 \cdot K/W$ ]	
	コンクリート壁	1.4	0.2	0.1429
	ウレタン吹き付け	0.029	0.015	0.5172
プラスターボード	0.22	0.012	0.0545	
合計熱抵抗 $\Sigma R$ [ $m^2 \cdot K/W$ ]			0.8814	
合計熱貫流率 $\Sigma K$ [W/( $m^2 \cdot K$ )]			1.13	

表6-8 T790C 実験値・計算値・解析値比較表

項目	給気ダクト (左側)風量 (m <sup>3</sup> /h)	排気ダクト 風量 (m <sup>3</sup> /h)	開孔部 平均面速 (m/s)	排気ダクト部 静圧 (Pa)
実験値	318	694	5.48	—
計算値	277	554	5.20 *2	200
解析値	341	694 *1	4.81	209
計算値/実験値	0.87	0.80	0.95	—
解析値/実験値	1.07	1.00	0.88	—
計算値/解析値	0.81	0.80	1.08	0.96

注) \*1 実験値とした。

\*2 表6-3の補正值とした。

## 6-2 実践例（その7）

ペリメータ機能を有する軽鉄間仕切壁を採用した下記3例を取り上げる。

日本薬品工業茨城工場包装棟

日本薬品工業つくば工場3号棟

テルモ富士宮工場西4号棟

### 6-2-1 日本薬品工業茨城工場包装棟

茨城県稲敷市に建設されたジェネリック医薬品包装工場である。（参照：写真6-2、写真6-3）ペリメータ壁をはじめて建設現場で実験したプロジェクトである。現場仮設事務所の間仕切り壁に実験用軽鉄間仕切り壁を取り付けて各種タイプのスタッド配置、スタッド開孔と軽鉄壁内の空気経路を組み合わせることで試施工し、除塵効果が最適となる軽鉄下地骨組みとスタッド開孔形状と位置を実験的に研究した。<sup>44)</sup>、<sup>45)</sup> 除塵効果を目視で容易に評価する上ではスタイロパウダーが効果的であることが分かった。敷地内に既存工場があり、施主の建設担当者が常駐されていたことから逐一実験の進捗を確認いただいた。それゆえ実施工は施主にとってリスクのないものとなった。

そもそも開発研究を行うことになった背景として以下のような議論があった。包装工程にはクラス100,000のクリーン度が要求される工程がある。原材料・製品搬送用通路と工場見学通路のほかにクリーンルームを囲みこむためのペリメータ空間の確保が難しい工場規模で、設計打ち合わせの席で本社の生産管理担当役員と工場現場の品質管理部長との間でクリーンルーム廻りのペリメータ空間の必要性について論争があった。

担当役員は「ペリメータ空間を確保するだけのために、使いもしない通路を設けることはもったいない。その分設備投資を削減すべきだ。」と言われる。品質管理部長は「ペリメータ空間のないクリーンルームは外壁一枚で外部と隣り合わせとなる。外壁1枚では外部から塵埃がクリーンルームに侵入して、クリーンルームを汚染するおそれがある。品質を担保する自信がない。」と反論する。つまりペリメータ空間はクリーンルームが外部から汚染されるリスクを低減するための保険とする論理である。

そこで外壁の内側にペリメータ空間と同等に空間を確保できる壁構造の開発設計研究し、本プロジェクトで実践することにした。その開発研究成果を文献44)、45)として発表した。さらに、竣工間近の1階の倉庫スペースを使って実物大の壁を製作して本格的な実験を行い、その有効性を再確認した。



写真 6 - 2 日本薬品工業茨城工場包装棟



写真 6 - 3 日本薬品工業茨城工場包装棟クリーンルーム



## 6-2-2 日本薬品工業つくば工場3号棟

クラスター型工程配列の実践例として第5章で説明した工場である。製剤工程のクリーンルームは生産管理事務室、廊下、見学通路等でペリメータ空間が確保できているが、包装工程関連のクリーンルームの中には壁一枚で外部と接する部屋があるため、その壁面のみペリメータ機能を有する軽鉄間仕切壁を内側に付加した。(参照:写真6-4、写真6-5) その付加工事費は総工事費に比べてわずかな額であり、クリーンルームの多重防御を形成する上で非常に有効な手段となった。

2階は躯体、防火区画壁及び屋根と外壁等外装材のみ施工されている。そのほかは未装である。将来の生産装置実装計画は想定されているができるだけ予備的措置を行わないこととしており、ある意味では自由に計画できるよう配慮している。当然将来壁一枚で外部と接するクリーンルームが配置されることがあり得るが、その場合は本ペリメータ壁を施工することで通路等のペリメータ空間を計画上確保する必要はない。設備投資面で非常に経済的である。

クリーンルームは生産稼働停止中、無人となるため照明を消すケースが多いが再稼働までクリーンルームのクリーン度を維持する必要があるため、基本的に空調設備は止められない。そのため、インバータにより空調設備運転を抑制するか、あるいはローフローベンチレーションシステムに切り替えるなど省エネが図れる設計が求められる。クラスター型工程配列の工場では稼働しているクラスターと休止しているクラスターが混在する場合があります、稼働中のクラスターはフル運転するが休止中のクラスターはローフローベンチレーションとすることにより省エネルギーできるメリットがある。このようにクリーンルーム絡みの工場では空調設備を切ることができないケースが多々あり、日々の電気代をできるだけ抑える運転管理が重要である。それが可能な建築設計及び建築設備設計が求められる。



写真 6 - 4 日本薬品工業つくば工場 3号棟



写真 6 - 5 日本薬品工業つくば工場 3号棟クリーンルーム

### 6-2-3 テルモ富士宮工場西4号棟

静岡県富士宮市のテルモ富士宮工場内に建設した輸液バッグ等の製造施設である。(参照：写真6-6)

GMP(Good Manufacturing Practice)施設として、建物の気密性確保、クリーンルームの陽圧維持、防虫対策等を実施している。注入する輸液とバッグの製造工程及びバッグに輸液を充填する工程はクリーンルームでの作業となる。(参照：写真6-7)

比較的工場敷地規模は大きいですが、すでに建蔽率制限がネックとなり、建屋規模をできるだけ縮減する必要があった。そこでペリメータ機能を有する軽鉄間仕切壁を本格的に採用することとなった事例である。さらにクリーンルームでは外部に直接接する搬出入用扉にもペリメータ機能を有する軽鉄間仕切壁に準じた二重パネル構造を採用した。

ペリメータ機能を有する軽鉄間仕切壁を採用するに当たって躯体工事が完了した段階で現場性能確認試験を行った。当面未装となる1階工程室のコンクリート内壁下地とする実施工試験体を製作して、施主立会いのもとで確認試験を実施した。(参照：写真6-8)結果的に施主により性能確認がなされ、実施設計図通りに施工した。

建築設計では防水床の間仕切り変更が可能なようにプレキャストコンクリートブロックによる間仕切り壁床立ち上がり詳細を採用する等生産設備の更新・変更に向けた建築的な作り込みをしている。

公道を挟んで東工場と西工場があり、公道をまたぐ形で東西搬送路が設けている。この搬送路の両端の建物床レベルが異なるため、この工場内に垂直方向の製品移動を兼ねたラック倉庫が設置されている。他施設への従業員の移動には2階の連絡通路を利用する。(参照：写真6-6)

設備計画では、既存工場の設備ユーティリティ施設の有効利用を行い、コストダウンを図っている。さらに空調エネルギー抑制のために、インバータ制御によるクリーンルームの夜間・土日の換気風量低減を、クリーン度を維持しながら行うなどランニングコスト低減にも配慮している。また自然エネルギー利用のため、太陽光発電パネルを設置している。(参照：写真6-9)



写真 6-6 テルモ富士宮工場西 4 号棟  
[写真提供：テルモ株式会社]



写真 6-7 テルモ富士宮工場西 4 号棟クリーンルーム  
[写真提供：テルモ株式会社]

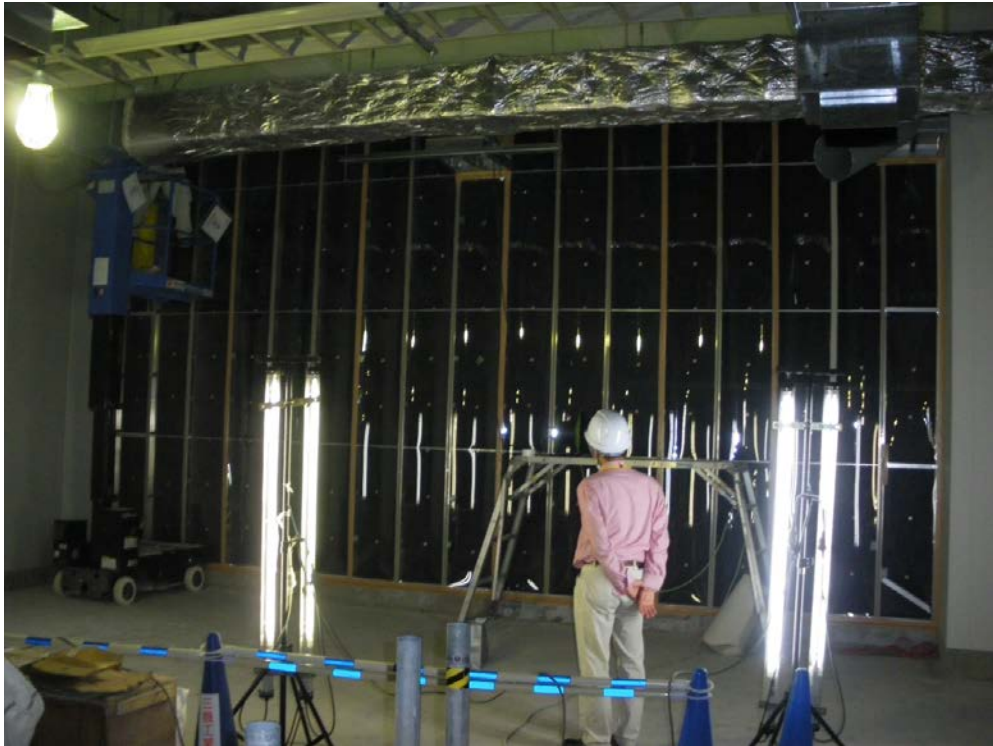


写真 6-8 テルモ富士宮工場西 4 号棟実施工試験体  
[写真提供：テルモ株式会社]



写真 6-9 テルモ富士宮工場西 4 号棟  
[写真提供：テルモ株式会社]

## 第7章 結論

筆者がこれまで取り組んだ生産等施設のうち比較的大規模な先端技術開発プロジェクトや生産施設プロジェクトを取り上げて、建築設計における防御設計手法及び将来に向けて自由度の高い建築計画手法を開発研究してその実践的な成果を述べた。

第1章「序論」では、我が国の生産等施設の設計要件が近年多様化し厳格さを増している状況を本研究の背景として把握・概説し、そうした状況への設計指針として防御設計に関する新たな知見を得ることの重要性、およびその分析に際して、1970年代以降に建設された先端技術研究開発施設20例および先端技術生産施設37例の合計57例を研究対象とすることの妥当性を述べるとともに、生産等施設の今日的な設計要件における防御設計手法および将来の増築計画における自由度の高い建築・配置計画手法の構築が本研究の目的であることを述べた。

第2章「生産等施設の防御設計」では、1960年代以降の建築設計に求められる防御設計の時代的な背景を調査し、時系列的变化から各種設計要件を分析することで、今日まで開発研究が未着手であった設計要件を抽出するとともに、その設計要件の中から筆者が開発し、実践に至った3つの生産等施設の防御設計を詳細に検討することで、1980年代以降の生産等施設では事業主、エンジニアリング会社、設計事務所等からなるプロジェクトチーム編成に変化が現れ、プロジェクト全体を統括する建築設計者のプロジェクトマネジメント力が必須である状況とその重要性を明らかにした。

第3章「防御設計手法の開発研究と実践例」では、第2章で取り上げた3つの実践例における防御設計の具体的な研究開発成果を検討した。実践例1は地震動に匹敵する加振装置による敷地周辺への振動伝播遮断を設計要件とするもので、国立研究開発法人防災科学技術研究所実大三次元震動破壊実験施設であり、防御設計手法として震動台基礎の堅固な地盤(岩盤)への直接設置、および試験体と震動台の総重量に対する基礎重量の100倍以上の確保等の重要性を、実践例2は放射性物質内蔵量の大きな施設の放射線防御を設計要件とするもので、高速増殖炉もんじゅの使用済核燃料再処理施設である国立研究開発法人日本原子力研究開発機構のリサイクル機器試験施設であり、防御設計手法として放射線遮蔽および動的封じ込めの確保、さらに両防御設計を多重に設ける等の重要性を、さらに実践例3は威圧的な施設イメージ解消のための外観デザインを設計要件とするもので、国立研究開発法人量子科学技術研究開発機構関西光科学研究所のレーザ研究施設であり、防御設計手法として実験に直結した諸室のみに限定した実験棟の建屋規模の抑制、平板な箱形状の建屋を避けた寄棟、切妻等の勾配屋根の採用、京阪奈学研都市の里山景観と地域の歴史文化と調和し、地域に馴染む内外装仕上げ等の景観に配慮した形態操作等の重要性を明らかにした。

第4章「将来へ向けて自由度の高い建築計画手法と実践例」では、生産施設における市場原理に適合するためのフレキシブルな設計手法について検討した。生産施設の増築を考慮したマスタープラン、工場棟、ユーティリティ施設及びプロセスラインの計画手法を類型化し、設計ツールとして構築した上で、実践例4-1（タイ HGST プラチンブリ工場）、および実践例4-2（大日本印刷株式会社大利根工場）では、それぞれで実践した増築設計手法について、1980年代以降事業主から短時間での増築工事終了の要請が顕著となり、さらに予備的設備投資の抑制および将来へ向けた短期的かつ即応的な極めて自由度の高い建築計画の必要性が高まっている状況に応じて開発研究した、実践例4-3（大日本印刷株式会社三原工場）では連棟型式による建屋配置計画手法の重要性を、さらに、実践例4-4（パナソニック・インド・テクノパーク）では、長期的視野で見据えた社会状況等の変化に対応する企業グループ専用の工業団地に関する開発手法の有効性を明らかにした。

第5章「ジェネリック医薬品製造工場のクラスター型工程配列」では、第4章に続いて極めて自由度の高い建築計画として提案したクラスター型工程配列について、ジェネリック医薬品製造工場では標準である、少量多品種生産の要請、生産品入れ替えの簡易化、異種医薬品間の製造中におけるクロスコンタミネーションの回避などの4つの基本要件を明確にした上で、従来の生産方式と比較したクラスター工程配列の優位性を、実践例5（日本薬品工業株式会社つくば工場3号棟）等における防設計手法を詳細に検討することから明らかにした。

第6章「多重防御設計のための設計デバイスの開発研究」では、クリーンルームに関連してその清浄度確保のための多重防御、ペリメータ空間のスペース効率とコスト削減および外壁からの熱負荷低減等のための防御設計デバイスとして開発した「ペリメータ機能を付与する軽鉄間仕切壁」の有効性を、複数のプロジェクトで実践した防御設計手法と照応することで明らかにした。

建築設計上多岐にわたる設計要件に関する防御設計手法の研究開発と実践を通じて得られた知見として忘れてはならないことは先端技術エンジニアリングの進歩は建築設計へ向けた設計要件を厳しくすることもあれば、緩和することもあるということである。両者が相互に補完し合ってはじめて防御すべき設計要件が必要十分なものとして満たされることが少なくない。建築設計者は生産装置を入れる単なる箱を作る者ではなく、生産装置の一部として建屋を設計しなければならない。そのためには建築設計者は以前に増して先端技術研究開発や生産のエンジニアリングを理解しなければならないと考える。

以上の知見により、今後の生産施設等の防御設計に関する実践的手法の基幹となる指針が明らかになったと考える。

生産等施設の防御設計に関する設計要件は先端技術の研究開発や生産エンジニアリングの進展とともにさらに高度化し、複雑化していく。今後とも建築設計者はその流れに追随して、新たな防御設計手法の研究開発に邁進されることを期待するものである。



補記)

表 1 - 1、表 1 - 2 に研究対象を一覧表で示した。実は表末尾の凡例は社会情勢を如実に物語っている。表 1 - 1 では国立大学の法人化のほか国立研究開発法人の設立により研究機関の統廃合がなされ、機構改革の成果が現れている。表 1 - 2 ではグループ会社が統合された会社もあるが、企業の一部事業部門が生産施設ごと所有権の移転がなされ、工場の所有者が変わっているケースが少なくない。1990 年代は先端技術生産施設の増築工事が短期的即応的に進められたと述べたが、このように所有権移転も活発であったと言える。企業が同業他社との差別化、独自技術から裏付けられた新規事業を展開し、適切な設備投資リスクマネジメントの上に新規生産施設を建設するが、事業採算性、収益性等から当該事業の寿命を意識して事業部門と生産施設ともども手放すことがめずらしくない。建築設計者がここまで読み切るのは難しいがそのような状況も想定する必要のある時代と考えるのが自然かもしれない。その意味から新所有者へ竣工図のほかに第 1 期での増築計画、土地利用計画等の設計意図が表現されている基本設計書を受け渡すことも大事である。

[参考文献]

- 1) 加藤 徳太郎：空襲防護室の窓及出入り口の構造に就て、建築學會論文集、pp300-309、1938
- 2) 大枝 千秋：防護室の爆撃に対する安全度に関する理論的研究、建築學會論文集、pp421-429、1939. 4. 30
- 3) 濱田 実：既存高層建築に於ける防護室の位置に関する研究、建築學會論文集、pp124-133、1940. 3. 25
- 4) 佐久田 昌昭：放射線防護のための迷路計画法（その1）、日本建築学会論文報告集、pp28-33、1962. 12. 30
- 5) 佐久田 昌昭：放射線防護のための迷路計画法（その2）、日本建築学会論文報告集、pp22-26、1963. 8. 30
- 6) 佐久田 昌昭：放射線防護のための迷路計画法（計画、昭和38年度（仙台）大会学術講演要旨集）、日本建築学会論文報告集、pp350、1963. 9
- 7) 川西 利昌、末田 優子：建築材料と海砂の紅斑作用紫外線放射透過率・反射率及び紫外線防御指標UPFに関する研究、日本建築学会環境系論文集、p397、2010. 4
- 8) 川西 利昌、大塚 文和：低緯度地域の快晴的天空紅斑紫外放射輝度分布と日除けの建築的太陽防御指数ASPF、日本建築学会環境系論文集、p201、2014. 2
- 9) 川西 利昌、大塚 文和：紅斑紫外放射輝度分布を用いた紫外線日除けチャート作成と海浜に除けの建築的太陽防御指数ASPF、日本建築学会環境系論文集、p563、2014. 6
- 10) 川西 利昌、大塚 文和：夏期曇天時の天空紅斑紫外放射輝度分布とパラソルの建築的太陽防御指数、日本建築学会環境系論文集、p821、2014. 9
- 11) 鈴木 良延、藤井 修一：乱流型クリーンルームの空気清浄化性能評価方法の検討：統計的手法による要因の抽出およびクリーンルームの品質管理、日本建築学会計画系論文報告集、pp39-49、1991. 3. 30
- 12) 鍵 直樹、藤井 修二、湯浅 和博、並木 則和：クリーンルームの汚染防止からみた有機系ガスの実測、日本建築学会計画系論文集、pp59-63、1997. 6. 30
- 13) 田村 一、藤井 修二、湯浅 和博、田中 克昌：二重管式チャンバーによるクリーンルーム構成材から発生する揮発性有機化合物の評価手法、日本建築学会計画系論文集、pp55-59、1999. 6. 30
- 14) 松下 仁士、吉岡 宏和、高橋 良典：最適化アルゴリズムを用いた多自由度振動制御系の設計手法に関する研究、日本建築学会構造系論文集、p11、2012. 1
- 15) 松下 仁士、吉岡 宏和、高橋 良典：膜型圧電セラミックを用いた縮小梁架構の鉛直微振動制御に関する研究 新機能性材料を用いた自己適応制御建築に関する研究（その1）、日本建築学会構造系論文集、p281、2013. 2
- 16) 松下 仁士、吉岡 宏和、高橋 良典：膜型圧電セラミックを用いた縮小梁架構の鉛直・水平微振動制御に関する研究 新機能性材料を用いた自己適応制御建築に関する研究

- (その2)、日本建築学会構造系論文集、p1725、2013.10
- 17) 松下 仁士、松永 裕樹、吉岡 宏和、高橋 良典：膜型圧電セラミックを用いた鉄骨造の鉛直床振動制御実験 新機能性材料を用いた自己適応制御建築に関する研究(その3)、日本建築学会構造系論文集、p575、2014.5
  - 18) 安藤 信好、新田 文夫、加藤 夕紀子：小規模建築物の交通振動制御の一手法、日本建築学会計画系論文集、pp29-36、2000.11.30
  - 19) 田中 ゆかり、増田 潔：初期構造計画のための床スラブ内平均重量床衝撃音遮断性能の簡易予測法、日本建築学会環境系論文集、pp149、2014.2
  - 20) 井上 勝夫、木村 翔、土屋 順二、前原 暁洋：木質系建築物における床および壁構造の床衝撃音遮断性能の向上に関する実験的研究、日本建築学会計画系論文、p23-30、1995.1.30
  - 21) 渡辺 秀夫、木村 翔、井上 勝夫、石井 健太郎：住宅の床仕上げ構造の振動応答特性と床衝撃遮断性能との関係、日本建築学会計画系論文、p31-38、1998.9.30
  - 22) 藤井 修二、湯浅 和博、金 龍植、中村 一樹：パラメータ設計手法を用いた建築設備設計条件の検討、日本建築学会計画系論文集、pp57-63、1994.3.30
  - 23) 建築学体系編集委員会：新訂 建築学体系 29 工場、彰国社、1969.11.1
  - 24) 建築思潮研究所編：建築設計資料 27 研究所、建築資料研究社、pp12-29 1989.12.1
  - 25) 桐原 英秋、安田 幸一：大規模な生産施設の増築を考慮した建築計画手法、日本建築学会技術報告集、pp293-298、2011.2
  - 26) 澤潟作雄、中井重行共著：「工場計画」、丸善、pp57-61、1957.9.20
  - 27) ワルター・ヘン著 堀内 章ほか訳：「工場設計資料集成」、彰国社、1964.7.1
  - 28) 石舘達二、紺野 昭ほか：改訂増補建築学体系 2 9 「工場」、彰国社、pp4-7、1969.11.15
  - 29) 渡辺益男：「工場建築の計画と設計」、日刊建設工業新聞社、pp274、1975.2.5
  - 30) 中井重行、高橋輝男、金谷孝、吉本一穂共著：大学講座 機械工学 32、「工場計画」、共立出版、pp39-. 1979.12.5
  - 31) R. ミューサー L. ヘイル著伊藤 汎訳：「最新工場計画実践マニュアル」、日本能率協会、1982.12
  - 32) 建築思潮研究所編：建築設計資料 12 「工場・倉庫」、建築資料研究社、p-6 1986.3.1
  - 33) 渡辺益男：「工場計画マニュアル」第2版、日刊建設工業新聞社、1990.3.31
  - 34) 渡辺益男：「工場建築デザイン」、日刊工業新聞社、1995.3.27
  - 35) 日本建築学会編：建築設計資料集成 「建築-産業」、丸善、pp121-137、1989.3.1
  - 36) 建築思潮研究所編：建築設計資料 77 「工場・倉庫2」、建築資料研究社、pp6、2000.7.25
  - 37) 日本建築学会編：建築設計資料集成 [生産・交通]、丸善、p003、p029、2004.9.30
  - 38) 宮崎隆昌、横堀純子、菅 雅幸、中澤公伯：大都市沿岸域における用途地域指定と土地利用クラスターの空間的關係性に関する研究、日本建築学会計画系論文集、第 574 号

- pp137-144、2003. 12
- 39) 横堀純子、宮崎隆昌、中澤公伯：臨海部における土地利用クラスターの形状評価と土地利用転換に関する研究、日本建築学会計画系論文集、第 621 号 pp93-100、2007. 11
  - 40) 高薄一弘：医薬品における製造環境の設計、維持、管理とバリデーション、p77、技術情報協会、1999. 1. 27
  - 41) GMP ハード研究会：内服固形製剤工場の GMP ハード対応に関するガイドライン、pp72-73、じほう、2005. 4. 10
  - 42) 川村邦夫：医薬品の設計・開発・製造におけるバリデーションの実際、pp166、じほう、2006. 9. 30
  - 43) 桐原英秋、安田幸一、船渡川長利：ジェネリック医薬品製造工場におけるクラスター型工程配列、日本建築学会技術報告集 第 16 巻 第 33 号、pp655-660、2010. 6
  - 44) 船渡川長利、桐原英秋、新村直弘、石川達郎：ペリメータ機能を付与した軽鉄間仕切りの実験的研究（その 1）、日本建築学会大会学術講演梗概集（中国）、pp789-790、2008. 7
  - 45) 舟木善仁、桐原英秋、船渡川長利、石川達郎：ペリメータ機能を付与した軽鉄間仕切りの実験的研究（その 2）、日本建築学会大会学術講演梗概集（中国）、pp791-792、2008. 7
  - 46) 岩村卓嗣、加藤美好、三宅伸幸、高村潔、奥津健治、伊藤宏：ケミカルハザード対応クリーンルームの開発（その 1）システム概要、日本建築学会大会学術講演梗概集（北陸）、pp1381-1382、2010. 9
  - 47) 奥津健治、加藤美好、三宅伸幸、高村潔、岩村卓嗣、伊藤宏：ケミカルハザード対応クリーンルームの開発（その 2）中空二重パネルの陰圧保持機能、pp1383-1384、日本建築学会大会学術講演梗概集（北陸）2010. 9
  - 48) 伊藤宏、加藤美好、三宅伸幸、高村潔、岩村卓嗣、奥津健治：ケミカルハザード対応クリーンルームの開発（その 3）天井吊型モックアップによる検証実験、pp1385-1386、日本建築学会大会学術講演梗概集（北陸）2010. 9
  - 49) 井上宇市、森村武雄、小笠原祥五、中村守保：建築設備ハンドブック、朝倉書店、pp178-187、1985. 9. 20
  - 50) 井上宇市：建築設備ハンドブック、相模書房、pp137-141、1991. 2. 20
  - 51) 土井 巖：空調設備実務パーフェクトマニュアル、pp70-77、秀和システム、2012. 1. 1
  - 52) 空気調和・衛生工学会：空調・衛生設備 advice、pp21-19、21-20、新日本法規出版、2005. 8. 9

## 謝辞

本研究をまとめるに当たって常にお励まし頂いた東京工業大学教授安田 幸一博士に厚くお礼申し上げます。先生の懇切丁寧なるご指導とご助言により本論文を進めることが出来ました。深く感謝する次第であります。

また、論文をまとめるにあたって貴重なご助言を頂きました東京工業大学教授奥山 信一博士及び川島範久助教に心よりお礼申し上げます。

本研究は筆者が株式会社日建設計及び日建設計コンストラクション・マネジメント株式会社において携わったプロジェクトの建築設計の研究成果をまとめたものです。その建築設計につきまして貴重なご助言を頂きました日本ケミファ株式会社轡田雅則取締役常務執行役員、日本薬品工業株式会社今泉 和彦取締役副社長、黒田 護取締役、テルモ株式会社小林 洋三部長に感謝の意を表します。

平井 堯常務取締役、水津秀夫部長、青木 七郎部長はじめ株式会社日建設計の建築設計、設備設計関係の諸氏には、多大なご援助を頂きました。厚くお礼申し上げます。本論文を作成するに当たり株式会社日建設計の吉田 守氏、日建設計コンストラクション・マネジメント株式会社の山田 尚毅氏に多大なご助言を頂きました。とくに株式会社日建設計の船渡川 長利氏には一方ならぬご援助を頂きました。ここに厚く感謝致します。

## 資料編

### 資料1 先端技術研究開発施設

資料1. 1	東京大学 スーパーカミオカンデ	148
資料1. 2	日本原子力研究開発機構 再処理施設ユーティリティ施設	149
資料1. 3	日本原子力研究開発機構 常陽第二プール	150
資料1. 4	量子科学技術研究開発機構 関西光科学研究所	151
資料1. 5	防災科学技術研究所 実大三次元震動破壊実験施設	152
資料1. 6	理化学研究所 ライフサイエンス技術基盤研究センター	153
資料1. 7	理化学研究所 長尺ビーム実験施設	155
資料1. 8	理化学研究所 構造生物学研究棟	156
資料1. 9	理化学研究所 大型放射光蓄積リング棟	157
資料1. 10	アサヒビール 研究開発センター	158
資料1. 11	エム・イー・エム・シー 宇都宮工場研究開発棟	159
資料1. 12	栗本鐵工所 音響実験棟	160

### 資料2 先端技術生産施設

資料2. 1	アサヒビール 四国工場	161
資料2. 2	シミック CMO 富山工場	162
資料2. 3	HGST (Thailand) IP304 ハード・ディスク・ドライブ工場	163
資料2. 4	川澄化学工業 佐伯 BB 新工場	164
資料2. 5	信越半導体 白河工場	165
資料2. 6	大日本印刷 大利根工場	166
資料2. 7	大日本印刷 三原工場	167
資料2. 8	テルモ 富士宮西4号棟	168
資料2. 9	日東電工 尾道事業所	169
資料2. 10	日本電気 大月工場	170
資料2. 11	日本薬品工業 つくば工場3号棟	171
資料2. 12	日本薬品工業 茨城工場包装棟	172
資料2. 13	ノボ ノルディスク ファーマ 郡山工場	173
資料2. 14	パナソニック パナソニック・インド・テクノパーク	174
資料2. 15	明治 関西工場	175

資料 1. 1 東京大学 スーパーカミオカンデ

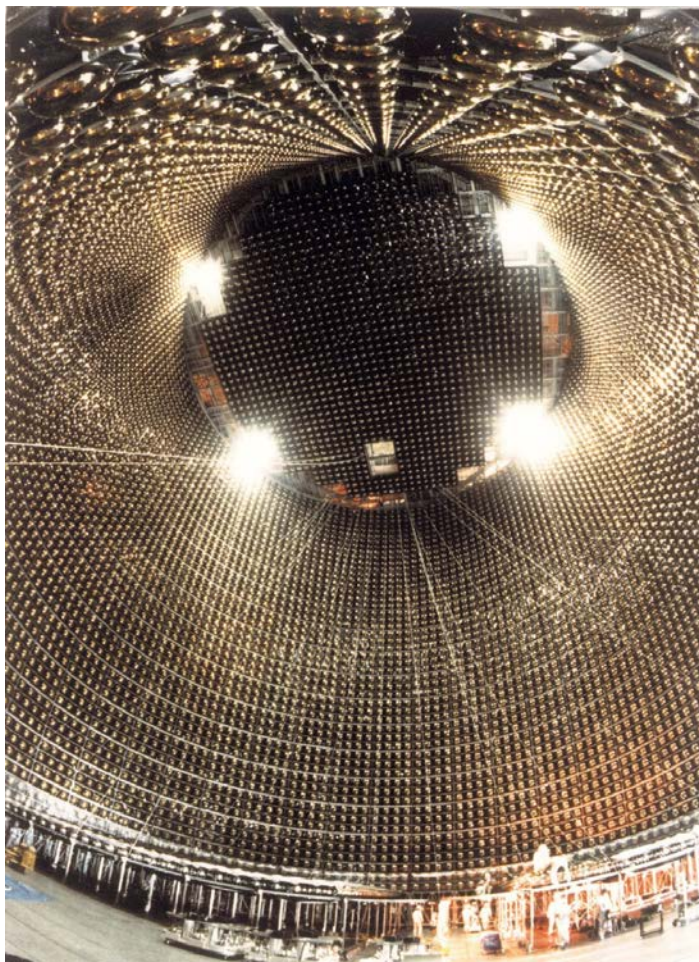
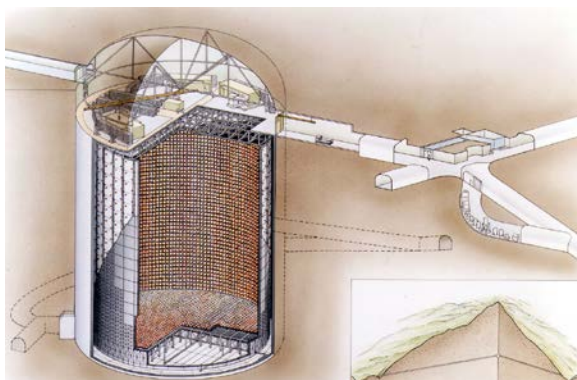


写真 1. 1. 1 スーパーカミオカンデ内観写真  
[写真提供：東京大学]



資料 1. 1. 2 スーパーカミオカンデ断面パース  
[資料提供：東京大学]

事業主	国立大学法人 東京大学
施設名称	スーパーカミオカンデ
所在地	岐阜県飛騨市
施設種別	ニュートリノ観測装置
延べ面積	3,000 m <sup>2</sup>
竣工年月	1996年3月
防御要件	地下1,000m以深に建設する
特記事項	梶田隆章教授ノーベル物理学賞受賞





資料 1. 3 日本原子力研究開発機構 常陽第二プール



資料 1. 3. 1 常陽第二プール 外観パース  
[資料提供：日本原子力研究開発機構]

事業主	国立研究開発法人 日本原子力研究開発機構
施設名称	常陽第二プール
所在地	茨城県東茨城郡大洗町
施設種別	高速増殖炉実験炉常陽使用 済燃料保管施設
延べ面積	2,221 m <sup>2</sup>
竣工年月	1991年9月
防御要件	放射線遮蔽、冷却
特記事項	プール保管

資料 1. 4 量子科学技術研究開発機構 関西光科学研究所



写真 1. 4. 1 関西光科学研究所  
[写真提供 量子科学技術研究開発機構]

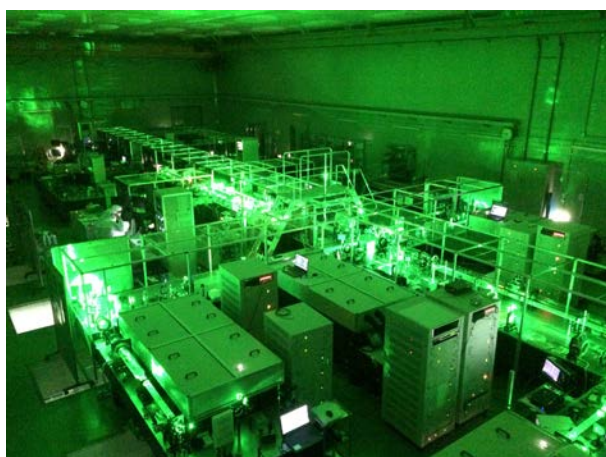
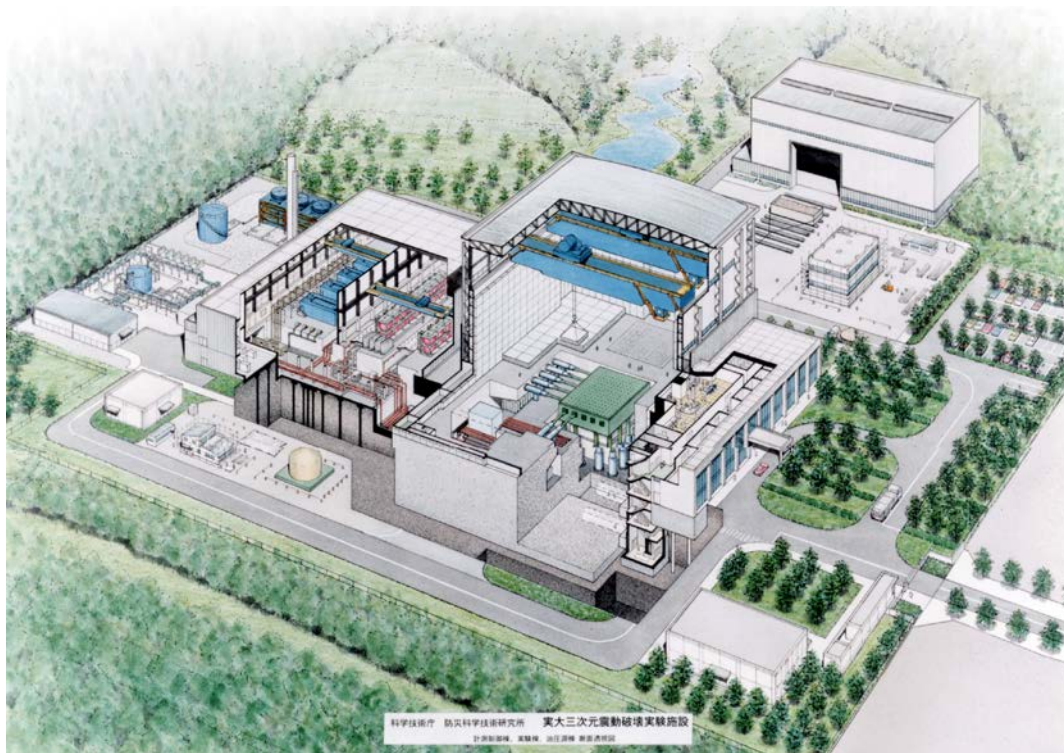


写真 1. 4. 2 レーザ実験室  
[写真提供 量子科学技術研究開発機構]

事業主	国立研究開発法人 量子科学技術研究開発機構
施設名称	関西光科学研究所
所在地	京都府相楽郡
施設種別	レーザー研究施設
延べ面積	12,580 m <sup>2</sup>
竣工年月	1999年5月
防衛要件	放射線遮蔽、レーザー研究という威圧的なイメージを払拭する外観デザイン
特記事項	京阪奈学研都市里山景観

資料 1. 5 防災科学技術研究所 実大三次元震動破壊実験施設



資料 1. 5. 1 実大三次元震動破壊実験施設断面パース

[資料提供：防災科学技術研究所]



写真 1. 5. 2 上：建設中 下：アクチュエータ

[写真提供：防災科学技術研究所]

事業主	国立研究開発法人 防災科学技術研究所
施設名称	実大三次元震動破壊実験 施設
所在地	兵庫県三木市
施設種別	実物大の建物・構築物等 を三次元加震で破壊する まで実験する施設。
延べ面積	16,642 m <sup>2</sup>
竣工年月	2004年3月
防御要件	加振震動の敷地周辺への 伝播遮断及び加震性能確 保のための基礎重量及び 剛性設計
特記事項	ロッキング振動の制御が 難しい。

資料 1. 6 理化学研究所 ライフサイエンス技術基盤研究センター



写真 1. 6. 1 ライフサイエンス技術基盤研究センター（1期）  
[写真提供：理化学研究所]



事業主	国立研究開発法人 理化学研究所
施設名称	ライフサイエンス技術基盤 研究センター（1期）
所在地	神奈川県横浜市
施設種別	大規模 NMR 施設
延べ面積	17,171 m <sup>2</sup>
竣工年月	2000年8月
防御要件	NMR 装置設置環境
特記事項	

写真 1. 6. 2 ライフサイエンス技術基盤  
研究センター（1期）  
[写真提供：理化学研究所]



写真1. 6. 3 ライフサイエンス技術基盤研究センター（左：1期 右：2期工事中）  
[写真提供：理化学研究所]



写真1. 6. 4 ライフサイエンス技術基盤研究センター（2期工事中）  
[写真提供：理化学研究所]

資料 1. 7 理化学研究所 長尺ビーム実験施設



資料 1. 7. 1 長尺ビーム実験施設

[資料提供：理化学研究所]



写真 1. 7. 2 長尺ビーム実験施設

[写真提供：理化学研究所]

事業主	国立研究開発法人 理化学研究所
施設名称	長尺ビーム実験施設
所在地	兵庫県佐用郡
施設種別	放射光を利用した研究施設
延べ面積	1,102 m <sup>2</sup>
竣工年月	2000年3月
防御要件	1,000mのビームラインの基礎安定度
特記事項	

資料 1. 8 理化学研究所 構造生物学研究棟



写真 1. 8. 1 構造生物学研究棟

[写真提供：理化学研究所]



エントランスホール (風除室)



中廊下

写真 1. 8. 2 構造生物学研究棟

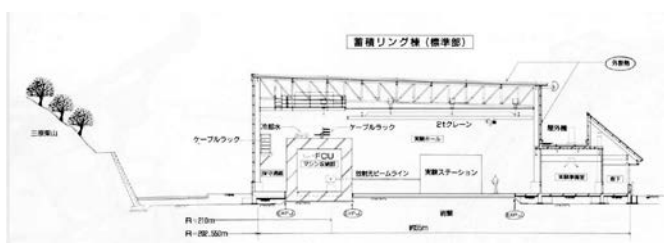
[写真提供：理化学研究所]

事業主	国立研究開発法人 理化学研究所
施設名称	構造生物学研究所
所在地	兵庫県佐用郡
施設種別	単結晶タンパクの研究
延べ面積	4,678 m <sup>2</sup>
竣工年月	1997年6月
防御要件	徹底したモジュール設計
特記事項	

資料 1. 9 理化学研究所 大型放射光蓄積リング棟



写真 1. 9. 1 大型放射光蓄積リング棟  
[写真提供：理化学研究所]



資料 1. 9. 2 大型放射光蓄積リング棟断面  
[資料提供：理化学研究所]

事業主	国立研究開発法人 理化学研究所
施設名称	大型放射光施設蓄積リング棟
所在地	兵庫県佐用郡
施設種別	放射光を利用した研究施設
延べ面積	70,817 m <sup>2</sup>
竣工年月	1996年12月
防御要件	放射光遮蔽及び直径500mの蓄積リング棟を安定した地盤で支える。
特記事項	



資料1. 10 アサヒビール 研究開発センター



写真1. 10. 1 アサヒビール 研究開発センター (1期)

[写真提供：アサヒビール株式会社]



写真1. 10. 2 研究開発センター (1期)

[写真提供：アサヒビール株式会社]

事業主	アサヒビール株式会社
施設名称	アサヒビール研究開発センター (1期)
所在地	茨城県北相馬郡
施設種別	ビール、ジュース他飲料及び食品関連の研究施設
延べ面積	18,598 m <sup>2</sup>
竣工年月	1997年9月
防御要件	免震設計および特高圧送電線からの電磁波による影響制御
特記事項	

資料1. 11 エム・イー・エム・シー 宇都宮工場研究開発棟



写真1. 11. 1 エム・イー・エム・シー宇都宮工場研究開発棟

[写真提供：エム・イー・エム・シー株式会社]



写真1. 11. 2

上：ユーティリティ棟 下：クリーンルーム

[写真提供：エム・イー・エム・シー株式会社]

事業主	エム・イー・エム・シー株式会社
施設名称	エム・イー・エム・シー宇都宮工場研究開発棟
所在地	栃木県宇都宮市
施設種別	半導体用シリコンウェハの 研究開発施設
延べ面積	12,513 m <sup>2</sup>
竣工年月	1998年5月
防御要件	クリーン度、静電気対策、微振動制御等
特記事項	

資料 1. 1 2 栗本鐵工所 音響実験棟



資料 1. 1 2. 1 栗本鐵工所 音響実験棟

[写真提供：株式会社栗本鐵工所]



資料 1. 1 2. 2 栗本鐵工所 音響実験棟

[写真提供：株式会社栗本鐵工所]

事業主	株式会社栗本鐵工所
施設名称	栗本鐵工所 音響実験棟
所在地	埼玉県児玉郡
施設種別	空調用サイレンサーの研究 開発施設
延べ面積	594 m <sup>2</sup>
竣工年月	1995 年 1 月
防御要件	出来る限りノイズを増幅さ せる（残響室）
特記事項	床・壁・屋根いずれも平行 な面がない。

資料 2. 1 アサヒビール 四国工場



写真 2. 1. 1 アサヒビール四国工場

[写真提供：アサヒビール株式会社]



写真 2. 1. 2 中央動線

上：3階

中：2階

下：1階

[写真提供：アサヒビール株式会社]

事業主	アサヒビール株式会社
施設名称	アサヒビール四国工場
所在地	愛媛県西条市
施設目的	ビール製造
延べ面積	35,212 m <sup>2</sup>
竣工年月	1997年12月
設計要件	プロセスレイアウト、 動線計画
特記事項	増築なし

資料 2. 2 シミック CMO 富山工場



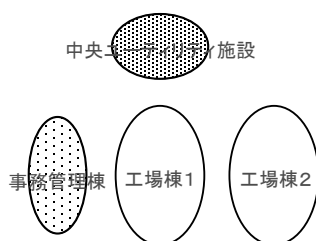
写真 2. 2. 1 シミック CMO 富山工場

[写真提供：シミック CMO 株式会社]



写真 2. 2. 2 各期外観

[写真提供：シミック CMO 株式会社]



前面道路

配置計画Z4

事業主	シミック CMO 株式会社
施設名称	シミック CMO 富山工場
所在地	富山県射水市
施設種別	製薬工場
延べ面積	5,450 m <sup>2</sup>
竣工年月	1985年10月
設計要件	建屋配置、正面性及び各期増築計画
特記事項	

資料 2. 3 HGST(Thailand) IP304 ハード・ディスク・ドライブ工場

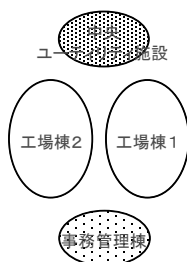


写真 2. 3. 1 HGST(Thailand) IP304 ハード・ディスク・ドライブ工場 (2 期)  
[写真提供：タイ竹中]



写真 2. 3. 2 筆者 (2 期工事中)  
[写真提供：タイ竹中]

事業主	HGST(Thailand) (旧) タイ・アイ・ビー・エム
施設名称	HGST(Thailand) IP304 ハード・ディスク・ドライブ 工場
所在地	タイ・プラチンブリ
施設種別	HDD 組立工場
延べ面積	26,783 m <sup>2</sup>
竣工年月	1997 年 10 月
設計要件	建屋配置、正面性及び各期増築計 画、クリーンルーム
特記事項	ラインレイアウト、増築計画



前面道路

配置計画Z1

資料 2. 4 川澄化学工業 佐伯工場 BB 棟



写真 2. 4. 1 川澄化学工業佐伯工場 BB 棟  
[写真提供：川澄化学工業株式会社]



写真 2. 4. 2 クリーンルーム  
[写真提供：川澄化学工業株式会社]

事業主	川澄化学工業株式会社
施設名称	川澄化学工業佐伯工場 BB 棟
所在地	大分県佐伯市
施設種別	血液バッグ製造工場
延べ面積	7,049 m <sup>2</sup>
竣工年月	2006 年 2 月
設計要件	建屋配置、正面性、電磁シールド、クリーンルーム
特記事項	

資料 2. 5 信越半導体 白河工場



写真 2. 5. 1 信越半導体白河工場

[写真提供：信越半導体株式会社]



事業主	信越半導体株式会社
施設名称	信越半導体白河工場
所在地	福島県西白河郡
施設種別	半導体工場
延べ面積	26,076 m <sup>2</sup>
竣工年月	1985年4月
設計要件	建屋配置、正面性、クリーンルーム、ラインレイアウト
特記事項	

写真 2. 5. 2 白河工場（上：玄関、下：食堂棟）

[写真提供：信越半導体株式会社]



資料 2. 6 大日本印刷 大利根工場



写真 2. 6. 1 大日本印刷大利根工場（3期竣工）  
[写真提供：大日本印刷株式会社]

事業主	大日本印刷株式会社
施設名称	大日本印刷大利根工場（1期）
所在地	埼玉県北埼玉郡大利根町
施設種別	フラットディスプレイパネル部 品製造工場
延べ面積	7,381 m <sup>2</sup>
竣工年月	1994年9月
設計要件	建屋配置、クリーンルーム、ラ インレイアウト、動線計画、ユ ーティリティ増設計画
特記事項	

資料 2. 7 大日本印刷 三原工場



写真 2. 7. 1 大日本印刷三原工場（1期）

[写真提供：大日本印刷株式会社]



写真 2. 7. 2 大日本印刷三原工場（2期）

[写真提供：大日本印刷株式会社]

事業主	大日本印刷株式会社
施設名称	大日本印刷三原工場（1期）
所在地	広島県三原市
施設種別	フラットディスプレイパネル部品製造工場
延べ面積	39,978 m <sup>2</sup>
竣工年月	1993年7月
設計要件	連棟型式建屋配置、クリーンルーム、ラインレイアウト
特記事項	

資料 2. 8 テルモ 富士宮工場西 4 号棟



写真 2. 8. 1 テルモ富士宮工場西 4 号棟

[写真提供：テルモ株式会社]



写真 2. 8. 2 クリーンルーム

[写真提供：テルモ株式会社]

事業主	テルモ株式会社
施設名称	テルモ富士宮工場西 4 号棟
所在地	静岡県富士宮市
施設種別	輸液バッグ製造工場
延べ面積	7,151 m <sup>2</sup>
竣工年月	2010 年 9 月
設計要件	クリーンルーム、ラインレイアウト、二重防御機能を付与するペリメータ壁、動線計画
特記事項	

資料 2. 9 日東電工 尾道事業所



写真 2. 9. 1 日東電工尾道事業所 (2 期)

[写真提供 日東電工株式会社]

事業主	日東電工株式会社
施設名称	日東電工尾道事業所 (1 期)
所在地	広島県尾道市
施設種別	フラットディスプレイパネル用部品製造工場
延べ面積	13,827 m <sup>2</sup>
竣工年月	1995 年 9 月
設計要件	建屋配置計画、増築計画、 構内動線計画、ユーティリティ施設計画等
特記事項	



写真 2. 9. 2 尾道事業所 (2 期)

[写真提供 日東電工株式会社]

資料2. 10 日本電気 大月工場



資料2. 10. 1 日本電気大月工場[竣工当時]

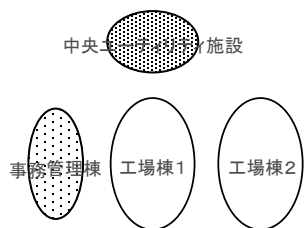
[写真提供：日本電気株式会社]



資料2. 10. 2 日本電気大月工場 [竣工当時]

[写真提供：日本電気株式会社]

事業主	日本電気株式会社
施設名称	日本電気大月工場
所在地	山梨県大月市
施設種別	光デバイス製造工場
延べ面積	23,523 m <sup>2</sup>
竣工年月	1986年4月
設計要件	中央線、中央自動車道からのCI形成、増築計画
特記事項	



前面道路

配置計画Z4

資料 2. 1. 1 日本薬品工業 つくば工場 3 号棟



写真 2. 1. 1. 1 日本薬品工業つくば工場 3 号棟外観

[写真提供：日本薬品工業株式会社]



写真 2. 1. 1. 2 つくば工場 3 号棟中央通路

[写真提供：日本薬品工業株式会社]

事業主	日本薬品工業株式会社
施設名称	日本薬品工業つくば工場 3 号棟
所在地	茨城県筑西市
施設種別	ジェネリック医薬品製造 工場
延べ面積	8,100 m <sup>2</sup>
竣工年月	2014 年 4 月
設計要件	クリーンルーム、GMP、 プロセスレイアウト、耐 震安全性、二重防御機能 を付与するペリメータ壁
特記事項	基礎免震構造

資料 2. 1 2 日本薬品工業 茨城工場包装棟



写真 2. 1 2. 1 日本薬品工業茨城工場包装棟

[写真提供：日本薬品工業株式会社]



写真 2. 1 2. 2 包装ラインクリーンルーム

[写真提供：日本薬品工業株式会社]

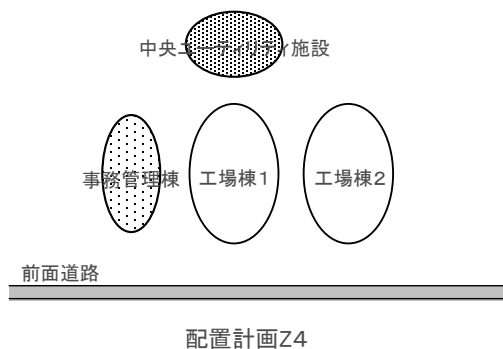
事業主	日本薬品工業株式会社
施設名称	日本薬品工業茨城工場包装棟
所在地	茨城県稲敷市
施設種別	ジェネリック医薬品包装工場
延べ面積	2,874 m <sup>2</sup>
竣工年月	2008年9月
設計要件	クリーンルーム、プロセスレイアウト、二重防御機能を付与するペリメータ壁
特記事項	

資料2. 13 ノボ ノルディスク ファーマ 郡山工場



写真2. 13. 1 ノボ ノルディスク ファーマ郡山工場（建設当時）

[写真提供：ノボ ノルディスク ファーマ株式会社]



事業主	ノボ ノルディスク ファーマ株式会社
施設名称	ノボ ノルディスク ファーマ郡山工場
所在地	福島県郡山市
施設種別	薬品包装工場
延べ面積	10,466 m <sup>2</sup>
竣工年月	1997年6月
設計要件	増築計画、建屋配置、CI形成、ランドスケープデザイン
特記事項	



資料2. 14 パナソニック パナソニック・インド・テクノパーク



資料2. 14. 1 パナソニック・インド・テクノパーク鳥瞰パース（基本計画）

[写真提供：パナソニック株式会社]



資料2. 14. 2 パナソニック・インド・テクノパーク正面パース（基本計画）

[写真提供：パナソニック株式会社]



写真2. 14. 3 事務棟・工場（1期竣工）

[写真提供：パナソニック株式会社]

事業主	パナソニック株式会社
施設名称	パナソニック・インド・テクノパーク
所在地	インド ハリアナ州 ジャジャール
施設種別	白物家電・電気加工機器等製造工場
延べ面積	49,809 m <sup>2</sup>
竣工年月	2012年3月
設計要件	企業の進出、撤退が容易な敷地利用
特記事項	企業グループ専用工業団地

資料 2. 15 明治 関西工場



写真 2. 15. 1 明治関西工場

[写真提供：株式会社明治]



写真 2. 15. 2 見学通路

[写真提供：株式会社明治]

事業主	株式会社明治
施設名称	明治関西工場
所在地	大阪府貝塚市
施設種別	乳製品製造工場
延べ面積	25,075 m <sup>2</sup>
竣工年月	2005年7月
設計要件	ラインレイアウト、動線計画、 見学通路、土地利用計画
特記事項	