

令和4年度
修士論文

アルヴァ・アアルト作品における建築音響への関心

指導教員

寺島 貴根 教授

三重大学大学院工学研究科建築学専攻
松村真帆

三重大学大学院 工学研究科

目次

第1章 序論	1
1.1 研究目的	2
1.2 先行研究	3
1.3 研究方法	4
1.4 定義	11
第2章 作品分析	12
2.1 1930年代	14
2.1.1 初期教会堂	14
2.1.2 ヴィープリの図書館（1927-35）	43
2.2 1950年代	46
2.2.1 文化の家（1952-58）	46
2.2.2 ヴォクセンニスカの教会（1952-59）	51
2.3 1960年代	60
2.3.1 フィンランディアホール（1962/1967-75）	60
第3章 音響的特徴の分析	78
3.1 ラメラ構造	80
3.2 拡散体	92
3.3 平面非対称性	96
3.4 天井	101
3.5 分析結果	107
第4章 結論	113
参考文献	115
参考資料	120
(1) ヴォクセンニスカの教会	121
(2) フィンランディアホール	126

第 1 章 序論

1.1 研究目的

アルヴァ・アアルト（Alvar Aalto, 1898-1976）は、彼の名前の Aalto（波）のように波打つ曲線のインテリアや建築を設計したフィンランドの建築家である。アアルトの作品はデザインの美しさだけでなく、ヒューマン・デザインに基づく居心地の良い空間をデザインすることでも知られている。その傾向は彼の初期の作品、1930 年頃の教会堂作品にも見られ、採光・音響など室内環境に配慮した内部空間を設計していることが卒業研究からわかった。特に音響に関しては、平面形態及び天井の傾き、形状という内部空間を操作することにより、1 次反射音が客席に満遍なく行き渡るよう音線を用いて検討していることがわかった。そこで、修士論文ではよりアアルトの設計した音響面に焦点を当て、現存する作品について実際にどのように工夫したのかを追求することとした。そのうえでアアルトの工夫が当時としても現代としてもどれほど妥当であったのか、どのような働きをもたらしているのかを検討することとした。

よって、本研究の目的は、アルヴァ・アアルトの意匠的アイデアを音響の側面から分析し、設計プロセスへの影響を明らかにするとともに、現代の音響学の基準に照らし合わせた時の妥当性を考察することとする。本研究が、アルヴァ・アアルトの意匠的アイデアの持つ音響の問題への関心を浮かびあがらせ、アアルトの有機的曲線、居心地の良い空間への意図を知るきっかけになることを目標とする。



写真1 アルヴァ・アアルトの肖像写真¹

¹ 出典: エリサ・アアルト, カール・フライク編; 武藤章訳, Alvar Aalto, A.D.A.EDITA Tokyo, 1979, p.6

1.2 先行研究

先行研究は以下の5つとする。

- ・大会論文（松村真帆, 富岡義人, 田端千夏子, 寺島貴根, アルヴァ・アアルトの初期教会堂設計案の造形技法 設計スケッチを通じて観察した音響・採光・架構への関心, 2021年度日本建築学会大会（東海）学術講演会, 2021）
- ・卒業論文（松村真帆, 富岡義人, 田端千夏子, アルヴァ・アアルトの初期教会堂の形態分析 架構の解釈を伴った楔形内部空間の成立, 2020）
- ・安東美穂子: Alvar Aalto's Way to Design : Interaction Between Furniture and Architecture, 京都大学学術情報リポジトリ（博士学位論文）, 2019
- ・Peter Blundell Jones, Jian Kang, Acoustic form in the Modern Movement, Cambridge University Press, 02 September 2003
- ・DONNA COHEN, Other Waves: The Acoustics of Alvar Aalto, 85th ACSA ANNUAL MEETING AND TECHNOLOGY CONFERENCE, 2000

1つ目は私の大会論文で、2つ目は卒業論文である。

そして3つ目の論文は安東によるアアルトの設計方法に関する論文であり、本研究で取り上げるヴォクセンニスカの教会の音響についての言及がある。しかし、安東の一連のヴォクセンニスカの教会に関する研究においても音響に関する明確な設計への影響は言及されていない。

4つ目は Jones と Kang による近代化における音響形態についての論文である。この論文でアアルトは音響を考慮した建築家のひとりとして取り上げられている。ヴィープリ図書館の講堂、ヴォクセンニスカの教会、文化の家の3つを例に挙げ、それぞれの考慮された内容と実際の評価が記載されている。

5つ目は Cohen によるアアルトの音響に関する技術会議の文書である。この中ではヴォクセンニスカの教会、文化の家、フィンランディアホールに関する記述があり、その研究の内容は明記されていないもののアアルトは1つの「正しい」音を定義しようとしたわけでない結論付けその建物の構成要素と音の関連性を詞的な比喻を用いて表現している。

以上のことから、より論理的に時系列でアアルトの意匠デザインと音響を考察する必要があると考えた。

1.3 研究方法

本研究は、次の4つの手順で実施する。

- (1) 資料収集
- (2) 研究対象選別
- (3) 資料から作品における音響検討の方法や実施設計への反映結果などを分析
- (4) 現代の音響学の観点から妥当性を考察

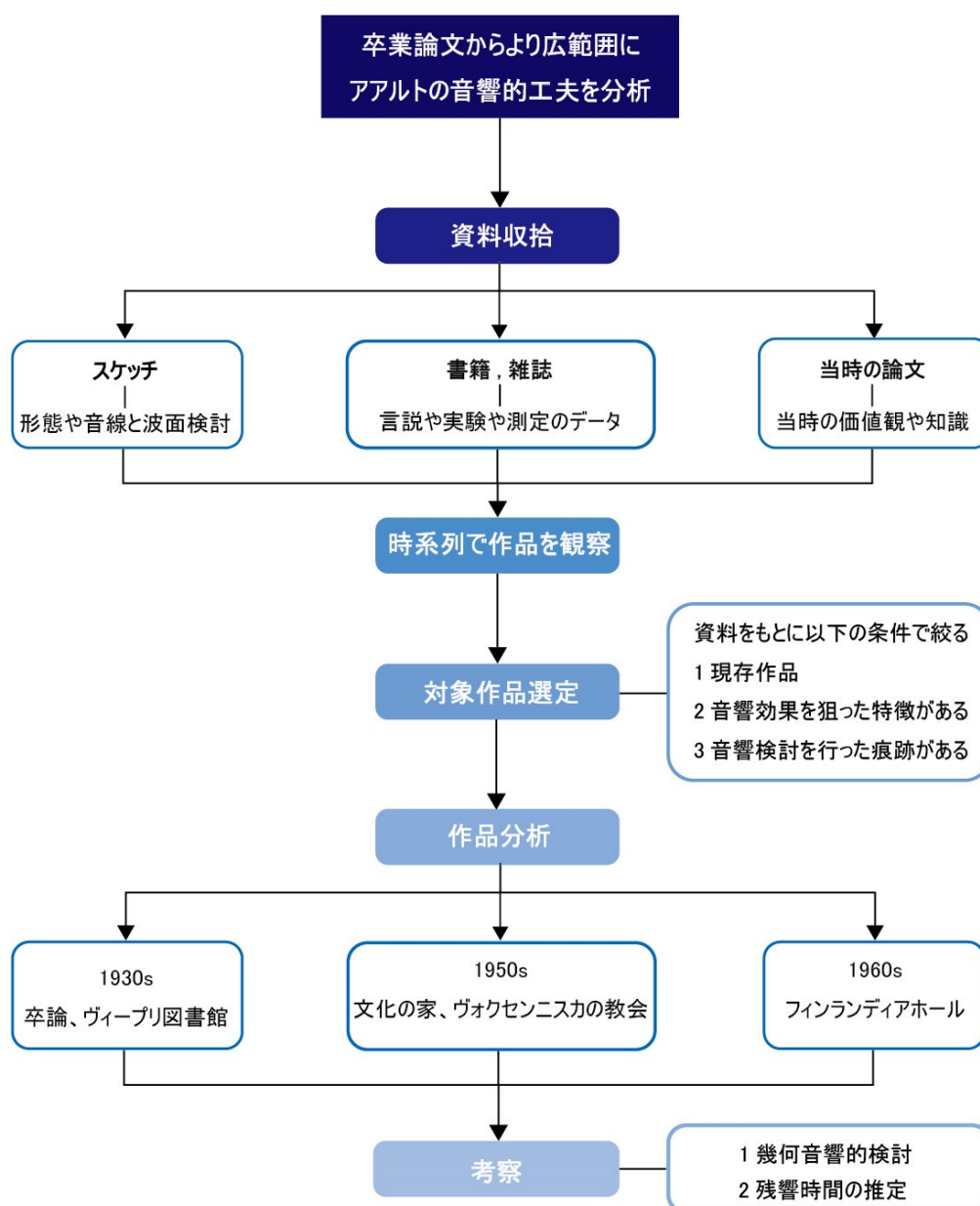


図1. 研究の流れ

(1) 資料収集

まず、卒業論文より広範囲にアアルトの音響的工夫を分析するため、資料収集を行った。この資料収集は主にアアルトのスケッチ、書籍や雑誌、当時の論文である。スケッチでは、建築の形や音線と波面検討、書籍・雑誌からは言説と実験や測定の実験データ、当時の論文からはその当時の価値観や知識といった情報が得られた。

(2) 研究対象選別

①「会衆席を擁し音楽的要求があるもの」を抽出

例えば、コンサートホール、教会、映画館、講堂などである。その結果を表1に示した。主な出典は、ガーランド版²、Karl Fleigの著書³である。

表1 アアルトの作品において会衆席を擁し音楽的要求があるもの

年	建物	所在地	現状	出典
1918-19	教会と鐘楼	Kauhajärvi	鐘楼のみ建築	ガーランド版 VOL.1, p.47
1921	KANSAN NÄYTTÄMÖ 社劇場	ヘルシンキ	建築された	ガーランド版 VOL.1, p.55
1922	工業博覧会のバンドスタンド	タンペレ	建築された	Alvar Aalto The Decisive Years, p.218 ⁴
1923	教会(改修)	Toivakka	現存	ガーランド版 VOL.1, p.87
1923-24	フィンランド国会議事堂	ヘルシンキ	コンペ入賞せず	ガーランド版 VOL.1, p.130
1923-25	ユヴァスキュラ労働組合	Jyväskylä	現存	ガーランド版, VOL.1, p.160
1924	教会(内装)	Äänekoski	現存せず	ガーランド版, VOL.1, p.251
1925	教会	Pertunmaa	不明	ガーランド版, VOL.1, p.367
1925	木造教会	不明	不明	ガーランド版, VOL.1, p.372
1925	教会	Jämsä	実現せず	ガーランド版 VOL.1, p.400
1925	教会	Vitasaari	建築された	ガーランド版, VOL.1, p.346
1924-1925	Anttola 教会	Jyväskylä	変更案が実行	ガーランド版 VOL.1, p.228
1926-27	Korpilahti 木造教会 (改装)	Korpilahti	建築されなかった	ガーランド版 VOL.2, p.156

² Alvar Aalto, Göran Schildt: THE ARCHITECTURAL DRAWINGS of Alvar Aalto 1917-1939, Garland Pub., 1994

³ カール・フライク編；武藤章訳、アルヴァ・アアルト作品集 第1巻・第2巻・第3巻, A. D. A. EDITA Tokyo Co., Ltd., 1979年8月7日

⁴ Göran Schildt, Alvar Aalto The Decisive Years, RIZZOLINTERNATIONAL PUBLICATIONS, INC., pp.199-200, 1986

1925-26, 1958	教会と鐘楼	Pylkönmäki	実現されたが復元時にアアルトの痕跡は消された	ガーランド版 VOL.2, p.146
1926-29	ユヴァスキュラ防衛隊ビル	Jyväskylä	現存	ガーランド版 VOL.1, p.445
1927	Töölö 教会(コンペ)	ヘルシンキ	コンペ落選	ガーランド版 VOL.3, p.2
1927	Viinikka 教会	タンペレ	実現せず	ガーランド版 VOL.3, p.14
1925-27	地方教区教会	Jyväskylä	コンペ入選せず	ガーランド版 VOL.3, p.56
1927	南西農業協同組合ビル	トゥルク	現存	ガーランド版 VOL.2, p.177
1926-29	教会	ムーラメ	現存	ガーランド版 VOL.2, p.32
1927-35	市立図書館	Viipuri	現存	ガーランド版 VOL.3, p.38
1928	フィランド伝記映画	トゥルク	実現せず	ガーランド版 VOL.3, p.361
1926-29	木造教会(改修)	Kemijärvi	戦時中に取り壊される	ガーランド版 VOL.2, p.114
1929	合唱団プラットホーム トゥルク市 700 周年記念	トゥルク	建築されたが現存せず	ガーランド版 VOL.4, p.31
1929	ヴァリラの教会	ヘルシンキ	コンペ落選	ガーランド版 VOL.4, p.
1930, 1932	ミカエル・アグリコラの教会	ヘルシンキ	コンペ落選	ガーランド版 VOL.5, p.187
1930	教会	Pöytyä	1990 年まで現存	ガーランド版 VOL.4, p.133
1931	ザグレブ中央大学医学部付属病院	ザグレブ、クロアチア	コンペ落選	ガーランド版 VOL.5, p.219
1933	テンペリアウキオの教会	ヘルシンキ	コンペ落選	ガーランド版 VOL.6, p.23
1933	『Kirkkola』のパヴィリオン	ロイマー	現存	ガーランド版 VOL.6
1934	コロソ劇場	チューリッヒ	不明	ガーランド版 VOL.6
1936	アルピハルジュ野外劇場	ヘルシンキ	現存せず	ガーランド版 VOL.6, p.372
1937	ビルティ文化センター	コトカ	実現したか不明	ガーランド版 VOL.8
1942-46	コミュニティプラン	Säynätsalo	実現	Karl Fleig, VOL.1, p.226
1944	劇場・コンサートホール	アベスタ	不明	Humanism and Materialism, p.210 ⁵
1947-53	劇場	イマトラ	不明	Karl Fleig VOL.1, p.210
1950	教会	Lahti	コンペ 1 位も 実現せず	Karl Fleig VOL3, p.132

⁵ Peter Reed, Alvar Aalto : between humanism and materialism, New York : Distributed by Harry N. Abrams, c1998

1951	ユヴァスキュラ大学講堂	Jyväskylä	現存	University of Jyväskylä - Alvar Aalto Foundation Alvar Aalto - säätiö ⁶
1951-52	クオピオ劇場	クオピオ	コンペ落選	Karl Fleig VOL.1, p.148
1952-54	屋内スタジアム	オタニエミ、 エスポー	1952 年オリンピックで使用	Karl Fleig VOL.1, p.204
1952-56	文化の家	ヘルシンキ	現存	Karl Fleig VOL.1, p.184
1956	ヴォクセンニスカの教会	イマトラ	現存	Karl Fleig VOL.1, p.214
1952-57	教会	Seinäjoki	現存	Karl Fleig VOL.2, p.150
1953	音響学研究室	オタニエミ、 エスポー	現存せず	Karl Fleig VOL.2, p.184
1955	劇場・コンサートホール	オウル	不明	Karl Fleig VOL.1, p.12
1958	野外施設 クンスト美術館複合施設の一部	オールボルグ	実現せず	Karl Fleig VOL.1, p.13
1958-64	エッセンのオペラハウス	ドイツ	現存	Karl Fleig VOL.2, p.86
1959-62	ヴォルフスブルク教会	ドイツ	現存	Karl Fleig VOL.2, p.152
1960、 1962	映画館と舞台、文化センター 文化施設計画の一部	Leverkusen、ド イツ	実現せず	Karl Fleig VOL.2, p.20
1958-63	ヴォルフスブルク文化施設	ドイツ	現存	Karl Fleig VOL.2, p.56
1961	行政文化施設	ロヴァニエミ	現存	Karl Fleig VOL.2, p.128
1962	セイナヨキの市庁舎	セイナヨキ	現存	Karl Fleig VOL.2, p.48
1964-82	劇場、コンサートホール、コン グレスセンター	Jyväskylä	実現したと思わ れる	Karl Fleig VOL.2, p.16
1965	劇場	Castrop- Rauxel、ドイツ	実現せず	Karl Fleig VOL.2, p.24
1965-68	デトメローデの教会	ドイツ	現存	Karl Fleig VOL.2, p.162
1966-82	アラヤルヴィ行政施設	Alajärvi	現存	Karl Fleig VOL.2, p.52
1966	シエナのコンサートホール	イタリア	実現せず	Karl Fleig VOL.2, p.108
1966-71	文化センター(劇場)	コッコラ	実現せず	Karl Fleig VOL.3, p.164

⁶ University of Jyväskylä - Alvar Aalto Foundation | <https://www.alvaraalto.fi/en/architecture/university-of-jyvaskyla/> (2023/02/27 アクセス)

1966-80	リオラの教会	イタリア	現存	RIOLA CHURCH AND PARISH CENTRE - Alvar Aalto Foundation ⁷
1967	アルトシュテッテン教会	チューリッ ヒ、スイス	実現せず	Karl Fleig VOL.2, p.174
1969-79	十字架の教会	ラハティ	現存	Karl Fleig VOL.2, p.180
1970-75	ラッピアホール	ロヴァニエミ	現存	Karl Fleig VOL.3, p.166
1971	フィンランディアホール	ヘルシンキ	現存	Karl Fleig VOL.3, p.196

②音響的变化が見られやすい箇所(図2)について観察

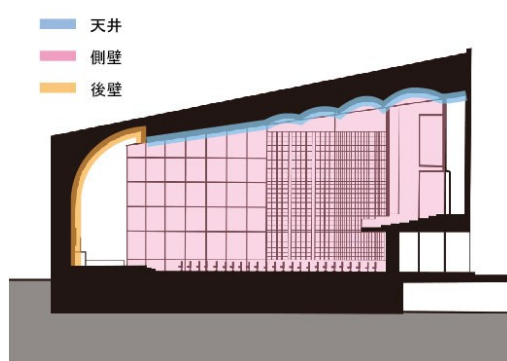
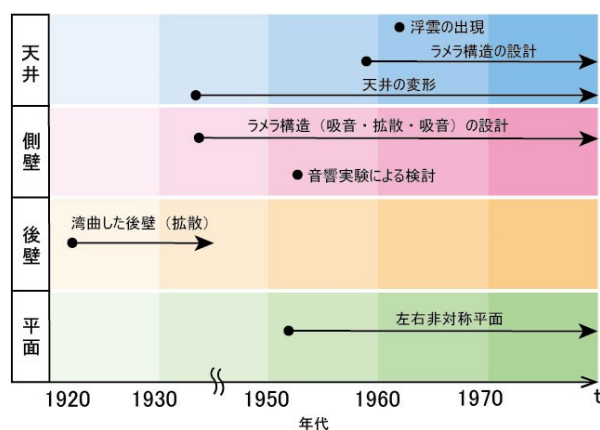


図2. 音響学的配慮が見られる箇所の例⁸

③形態変化が著しく見られた年代と建物を分析しその結果を表2に示した。

表2 時系列で観察した建築要素の形態変化



⁷ RIOLA CHURCH AND PARISH CENTRE - Alvar Aalto Foundation

<https://www.alvaraalto.fi/en/architecture/riola-church-and-parish-centre/> (2023/02/27 アクセス)

⁸ この図はテンペリアウキオの教会(Alvar Aalto, 1930)のコンペ案の断面を例として図示したものである。

以上の3つの段階を踏まえたうえで、作品選別条件を「現存作品（1950年代・1960年代）」、「音響効果を狙った特徴がある」、「音響検討を行った痕跡がある」の3つと設定し、対象作品を絞った。

結果、対象年代と作品は以下の通りである。

1930年代	—初期教会堂(卒論・大会)、ヴィープリの図書館
1950年代	—文化の家、ヴォクセンニスカの教会
1960年代	—フィンランディアホール

今回の研究対象以外にアアルト大学の講堂やエッセンのオペラハウスなどの作品もあるが、より設計の主題に音響があり、アアルトが生前に完成した作品とすることとした。

その後、アルヴァ・アアルト財団に音線描画などによる音響検討が行われたと思われる図面の有無を問い合わせ、該当した図面の高解像度の画像PDFを取り寄せた。そのほかについては、市販の書籍、雑誌やインターネットから収集した。本研究で用いたスケッチは、表3に示す通りである。

(3) 資料から作品における音響検討の方法や実施設計への反映結果などを分析
対象作品を、それぞれ資料を手掛かりに分析するのが第4章作品分析である。

(4) 現代の音響学の観点から妥当性を考察

作品ごとにアアルトが狙った音響効果についてと現代の見地から妥当性を検討するのが第4章考察である。

表 3 本研究で用いる研究対象の図面

種類	アーカイブ番号*	出典
断面図	46/1206	アルヴァ・アアルト財団所蔵ライブラリ
断面図	46/1298	アルヴァ・アアルト財団所蔵ライブラリ
断面図	46/1299	アルヴァ・アアルト財団所蔵ライブラリ
断面図	46/1300	アルヴァ・アアルト財団所蔵ライブラリ
断面図	46/1352	アルヴァ・アアルト財団所蔵ライブラリ
平面図	不明	エリサ・アアルト, カール・フライク編 ; 武藤章訳, Alvar Aalto, A.D.A.EDITA Tokyo, p.185, 1979
平面図	不明	Harry Charrington, HOUSE OF CULTURE HELSINKI ALVAR AALTO KULTTUURITIALO, Finnish Building Centre : Rakennustieto oy, p.38,1998
側壁展開図	不明	Harry Charrington, HOUSE OF CULTURE HELSINKI ALVAR AALTO KULTTUURITIALO, Finnish Building Centre : Rakennustieto oy, sheet No.29,1998
屋根伏図	不明	Harry Charrington, HOUSE OF CULTURE HELSINKI ALVAR AALTO KULTTUURITIALO, Finnish Building Centre : Rakennustieto oy, sheet No.30,1998
断面図	20/950	アルヴァ・アアルト財団所蔵ライブラリ
断面図	20/951	アルヴァ・アアルト財団所蔵ライブラリ
平面図	20/952	アルヴァ・アアルト財団所蔵ライブラリ
断面・平面図	20/995	アルヴァ・アアルト財団所蔵ライブラリ
模型実験写真	-	アルヴァ・アアルト財団所蔵ライブラリ
模型実験写真	-	雑誌『L' Architecture d' aujourd' hui』1960 年 12 月号 ⁶⁾
スケッチ	46/2431	アルヴァ・アアルト財団所蔵ライブラリ
スケッチ	46/2432	アルヴァ・アアルト財団所蔵ライブラリ
スケッチ	46/2434	アルヴァ・アアルト財団所蔵ライブラリ
断面図	46/2435	アルヴァ・アアルト財団所蔵ライブラリ
断面図	46/2437	アルヴァ・アアルト財団所蔵ライブラリ
スケッチ	46/2438	アルヴァ・アアルト財団所蔵ライブラリ
断面図	46/4720	アルヴァ・アアルト財団所蔵ライブラリ
断面図	46/4721	アルヴァ・アアルト財団所蔵ライブラリ
断面図	46/4942	アルヴァ・アアルト財団所蔵ライブラリ
詳細図	46/4943	アルヴァ・アアルト財団所蔵ライブラリ
断面図	46/4944	アルヴァ・アアルト財団所蔵ライブラリ
断面図	46/4949	アルヴァ・アアルト財団所蔵ライブラリ
断面図	46/4951	アルヴァ・アアルト財団所蔵ライブラリ
断面図	46/5241	アルヴァ・アアルト財団所蔵ライブラリ
断面図	46/5242	アルヴァ・アアルト財団所蔵ライブラリ
断面図	46/5326	アルヴァ・アアルト財団所蔵ライブラリ
2 階平面図	46/4877	アルヴァ・アアルト財団所蔵ライブラリ
断面図	46/5071	アルヴァ・アアルト財団所蔵ライブラリ
断面図	46/5073	アルヴァ・アアルト財団所蔵ライブラリ

*プロジェクト番号/スタンプ番号

1.4 定義

ここで本稿における定義を示す。

まず、アアルトの音響検討手法は資料から、幾何音響的手法と思われる。幾何音響的手法とは音の波動性を無視して扱うもので光と同じように直進及び幾何学的反射のみで音の伝搬を記述し、得られる結果は近似的である。音線法と鏡像法の2つある。

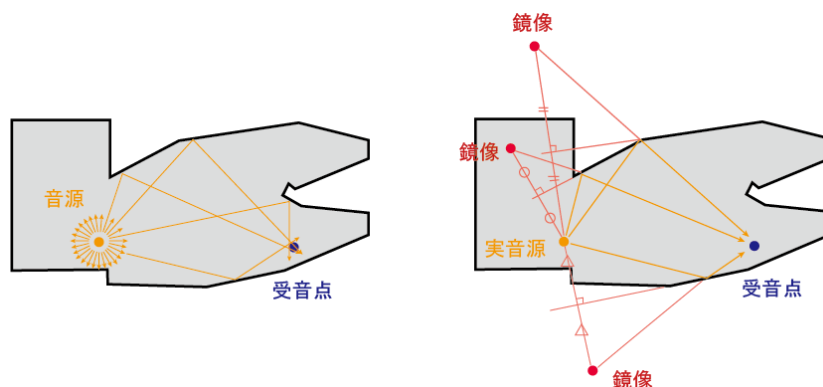


図3. 音線法と鏡像法⁹

音線法は、図3のように音のエネルギーを持った音線を描き、その様子を観察する。あるいは、「音の粒子」という仮想的なものを飛ばし、その軌跡を記録する方法。本来、振幅や位相が変化しながら伝搬していく音波を、ただのエネルギーの塊が飛んでいくようにモデル化する幾何的な考え方である¹⁰。

鏡像法は、虚像法ともいう。室内の反射壁面において、音源の鏡像が生じると仮定し、各像音源からのエネルギーの寄与を求める手法である。図3のように反射面ごとに鏡像音源はできる⁴。

音線とは音のエネルギーの伝搬を表す線である。音の方向や届く範囲などを観察できる。音線は特定の方向の音波の接線に対して垂直に交わる。

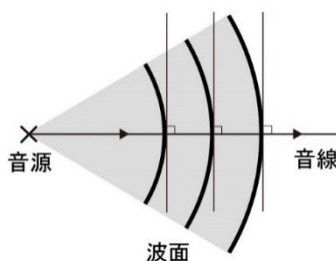


図4. 音線と波面

⁹ 参考文献：『音響シミュレーション | 業務内容 | ヤマハ株式会社』

https://www.yamaha.co.jp/acoust/_contents/simulation.html (2022/12/29)

¹⁰ 参考文献：尾本章，「簡単な」幾何音響理論，日本音響学会誌 62 巻 10 号，2006，pp.738-743

第 2 章 作品分析

研究対象は、第 1 章を踏まえ以下の通りである。

- 1930 年代 —初期教会堂(卒論・大会)、ヴィープリの図書館
- 1950 年代 —文化の家、ヴォクセンニスカの教会
- 1960 年代 —フィンランディアホール

(1) 概要、(2) 音源、(3) 音響的工夫の流れで進める。(1) には研究対象の背景およびアアルトの設計意図、計測データなどを書籍、論文、ウェブサイト等から引用し記述した。(2) は図面および建築用途から音源の種類と位置を記述した。(3) は設計に用いた音響的手法及び音響的に配慮して設計された箇所について記述する。後者について、1950 年代および 1960 年代の音響的特徴は第 3 章にて詳細に記述する。

2.1 1930 年代

2.1.1 初期教会堂

研究対象として、以下の 3 つの教会コンペ案を取り上げる。

I ヴァリラの教会 (Vallilan Kirkko, 1929) ¹¹

II ミカエル・アグリコラの教会 (Mikael Agricolan Kirkko, 1930) ¹²第 1 回コンペ

III テンペリアウキオの教会 (Temppeliaukion Kirkko, 1933) ¹³

これらはいずれも実現していない。本稿では、1930 年代までのアアルトの建築作品を初期の作品と定義する。よって、研究対象は初期の教会堂という位置づけとする。これらは卒論や大会論文で取り上げた内容であるが再度本稿にてまとめなおす。

それぞれの所在地を図 5 に示す。

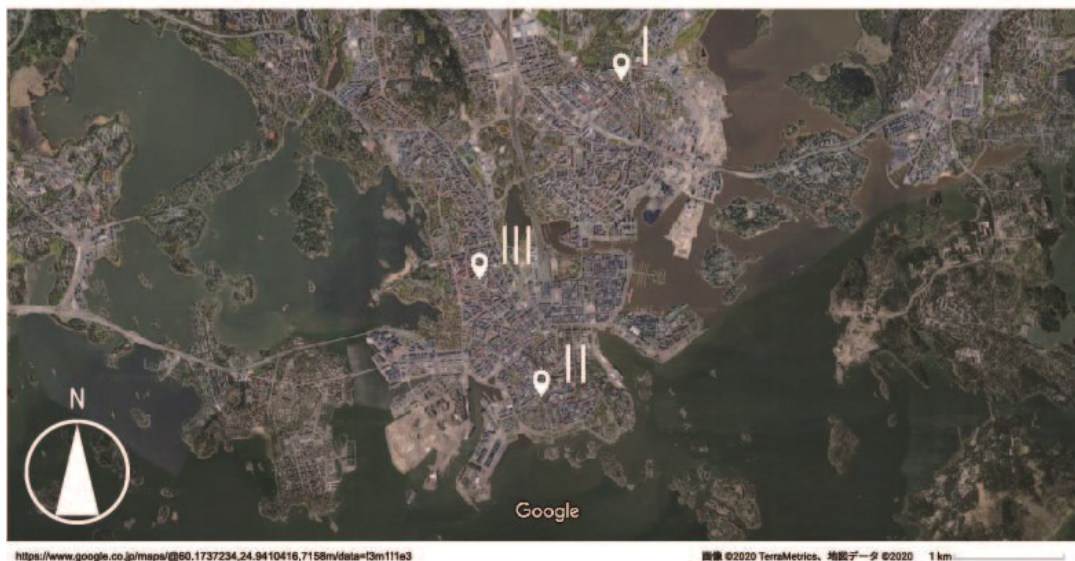


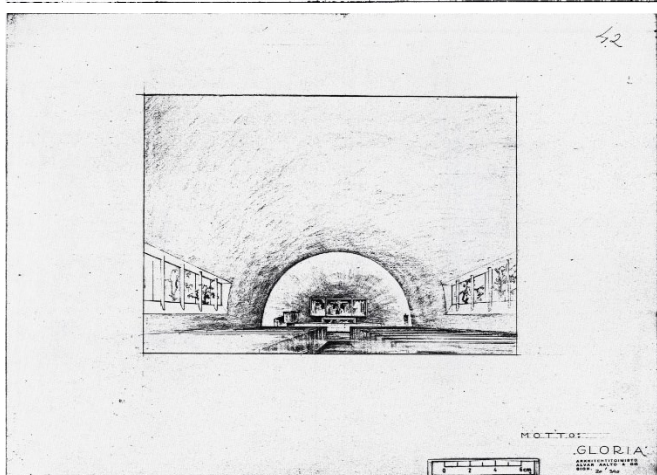
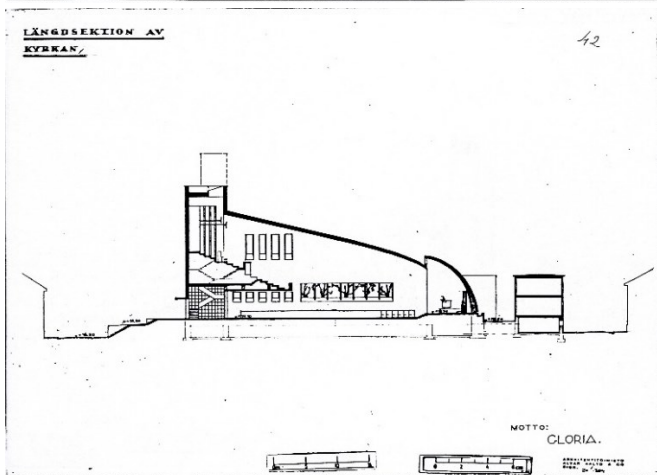
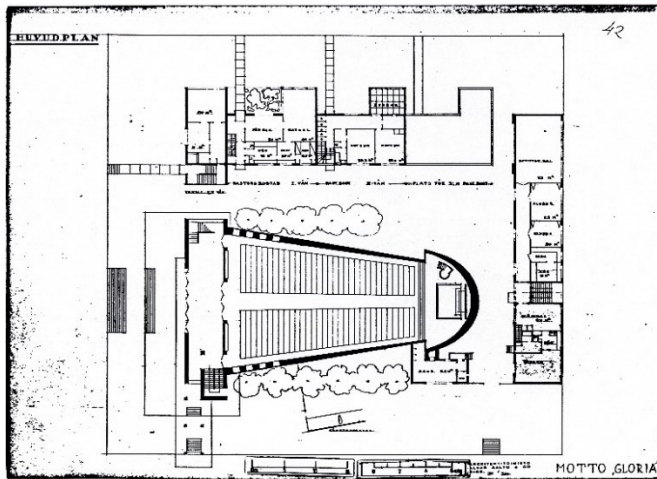
図5. ヘルシンキ地図における教会の敷地場所

¹¹ 現在は Bertel Liljequistin(1885-1954)による聖ポール教会 (Paavalinkirkko, 1931) として現存。

¹² 現在は Lars Eliel Sonck (1970-1956) によるミカエル・アグリコラ教会 (Mikael Agricolan kirkko, 1935) として現存。アアルトのコンペ案はテタンピストの教会 (Tehtaanpuiston Kirkko) ともいう。

¹³ 現在は Timo Suomalainen (1928-) と Tuomo Suomalainen (1931-1988) によるテンペリアウキオ教会 (Temppeliaukion kirkko, 1969) として現存。

I ヴァリラの教会 (Vallilan Kirkko, 1929) ¹⁴



1

20/382 平面図

2

20/384 断面図

3

20/390 断面図

¹⁴ Alvar Aalto, Göran Schildt: THE ARCHITECTURAL DRAWINGS of Alvar Aalto 1917-1939, Vol.4, Garland Pub., 1994, 1:p.18, 2:p.19, 3:p.22

(1) 概要

ヴァリラの教会 (Vallilan Kirkko, 1929) は、ヘルシンキ市内のヴァリラにおいて人口増加に伴い、独自の教会をもつという士気が高まっていた¹⁵ため、フィンランド・スウェーデン福音ルター派会衆の働きかけでコンペが開催された¹⁶。規模はオルガンロフトのある 1000 人収容¹⁷の教会で⁹、敷地は Sammatintie と Somerontie という通りに面する街区とされた¹⁸。

アアルトのモットー¹⁹は『GLORIA 神の栄光²⁰』だった。コンペは 51 案集まったが、1 等はおらず、2 案ある 2 等のうち、ベルテル・リリエキスト (Bertel Liljeqvist)²¹の案『Lucia 光²²』が選出された。アアルトの案は、台形の平面計画でアーチ構造の教会ホール²³が地上 2 階、牧師の居住空間が地上 2 階地下 1 階、教区センター²⁴が地上 2 階地下 1 階の規模で、パリのサル・プレイエル (Salle Pleyel, 1927)²⁵ (図 6) における音響実験に基づいて設計されたと審査員によって憶測されている⁹。しかし、審査員の評価は以下の通りだった。

¹⁵ Jorma Parviainen, Paavalinkirkko : Stadin helmi : 80, 1931-2011, Paavalin seurakunta, 2011, p51

¹⁶ Finnish Association of Architects SAFA, Arkkitehti, 1929.2.1 pp25-30

¹⁷ 雑誌『Arkkitehti』1929 年 2 月 1 日号に掲載されたコンペ情報によると必要諸室は「Paitsi 1000 hengen kirkkoa, jonka lehterille oli varattava tilaa uruille, n. 40-50-hengen kirkkokuorolle ja orkesterille, oli suunniteltava rippikoulusali kerhohuoneineen, pastorin kanslia, poikien veistosali ja papin asunto molemmille seurakunnille erikseen sekä vahtimestrain ja lämmittäjän asunnot. [原文ママ] オルガン用のスペースがある 1,000 人収容の教会に加えて、40 ~50 人の教会合唱団とオーケストラ、クラブルームのある懺悔ホール、牧師のオフィス、少年の彫刻ホール、両方の集会のための司祭のアパート、管理人用の部屋と暖房部屋 (訳は筆者による)」とされた。
アアルトのコンペ案を換算した結果、延床面積は 2315.73 m²となった。

¹⁸ Alvar Aalto, Göran Schildt: THE ARCHITECTURAL DRAWINGS of Alvar Aalto 1917-1939, Vol.4, Garland Pub., 1994, p.2

¹⁹ モットー (Motto) はコンペ案の指針を表すと同時に、コンペの結果発表時、応募者に名を伏せたまま講評を伝えるための手段。

²⁰ ガーランド版 VOLUME4, pp.16-22 におけるヴァリラの教会のコンペ案 (20/379a-b, 20/380, 20/381, 20/382, 20/383, 20/384, 20/385, 20/386, 20/387, 20/388, 20/389, 20/390) に記載。訳は筆者による。

²¹ Bertel Liljeqvist (1885-1954) フィンランドの建築家。教会の作品が多数。

²² Finnish Association of Architects SAFA, Arkkitehti, 1929.2.1, p27 より引用。訳は筆者による。

²³ 本稿では「教会ホール」を「座席のある身廊部分」と定義する。

²⁴ 本稿では「教区センター」を「教会に付属する施設。教区ホール、教区集会所または、学校、クラブなど」と定義する。

²⁵ サル・プレイエル (Salle Pleyel, 1927) はピアノ会社「Pleyel」のコンサートホール。当時 Pleyel を経営していた音響学者 Gustave Lyon (1957-1936) が音響設計を行った。ル・コルビュジェ (Le Corbusier, 1897-1965) に音響のすばらしさを称賛される。現在、火災を経て 1928 年当時とは異なる姿で存在する。

mutta koska tämä akustiikka edellyttää, että ääni suuntautuu saarnatuolista ja alttarilta, kirkkosaliin päin, ei akustiikkaa vastakkaiselta suunnalta, urkulehteriltä, ole otettu huomioon. Sitäpaitsi on pohjan muoto tullut sellaiseksi, että suurin osa seurakuntaa joutuu kauas kuorista. Sisäkuvan arkkitehtoonisesta vaikutuksesta on lautakunnan keskuudessa esitetty erilaisia mielipiteitä. Rakennuksen ulkopuoli on saanut muodon, jotka lautakunta ei voi hyväksyä. Seurakunta- ja asuntohuoneustot ovat hyvin suunniteltuja, mutta viimeksimainitut ovat liian tilavat. Kuution suuruutta ei ole ilmoitettu. [原文ママ]

この音響では、講壇と祭壇から教会ホールに向かって音が向けられる必要があるのに、反対方向、つまりオルガンロフト²⁶からの音響は考慮されていない。また、土台の形状は、会衆のほとんどが祭壇から遠く離れた形になっている。インテリアの建築的影響については、取締役会の間でさまざまな意見が出されている。建物の外観は、委員会で受け入れられない形状になっている。教区センターと住宅アパートはうまく設計されているが、後者は広すぎる。空気容積が指定されていない。²⁷

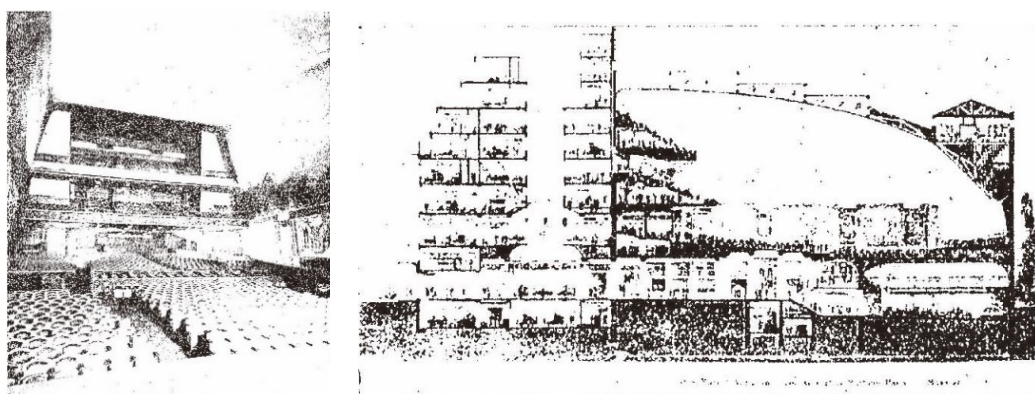


図6. サル・プレイエル(Salle Pleyel, 1927)の内部写真(左)と断面予想図(右)
(トリミング済)²⁸

²⁶ 本稿では、「オルガンロフト」は「オルガンの設置のために設けられたスペース。オルガン席。オルガンギャラリー。」とする。

²⁷ Finnish Association of Architects SAFA, Arkkitehti, 1929.2.1, p27 より引用。訳・注は筆者による。

²⁸ 佐藤武夫, オーディトリウムの音響的設計に就て, 建築雑誌, 520, 1929.4, p363 より第六圖(内部写真)および第七圖(断面予想図)を引用。

(2) 音源

アアルトが検討した音源は祭壇と説教壇とオルガンロフトの3つである。しかし、最終コンペ案ではオルガンロフトの考察はされていない。このことはコンペの批評でも指摘されている。

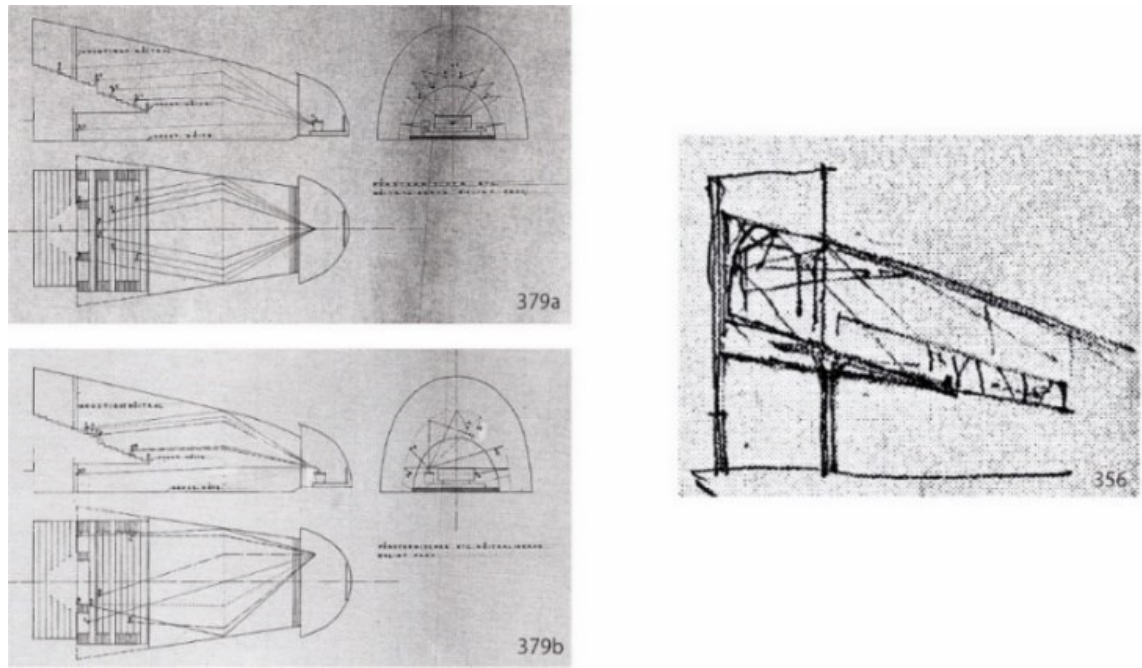


図7. 祭壇 (20/379a)・講壇 (20/379b)・オルガン (20/356) を音源とする音線図²⁹ (トリミング・図内書込済)

²⁹ Alvar Aalto, Göran Schildt: THE ARCHITECTURAL DRAWINGS of Alvar Aalto 1917-1939, Vol.4, Garland Pub., 1994, 左上・左下:p.16, 右:p.6

(3) 音響的工夫

ヴァリラの教会の音響的特徴は「天井の傾き」、「メガホン型のアーチ構造と台形平面」である。

まず、「天井の傾き」について分析する。コンペの講評において、ヴァリラの教会はパリのサル・プレイエルを参考にしているとされている。サル・プレイエルの音線のある断面図が図8である。

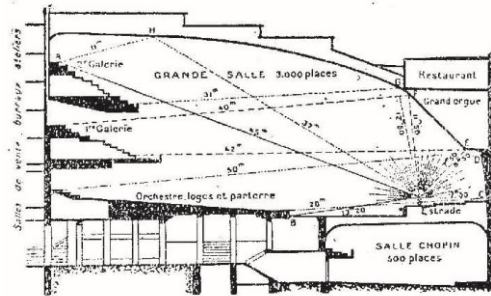


図8. サル・プレイエルの音線のある断面図³⁰（トリミング済）

佐藤はサル・プレイエルの音響設計について「音を同様に天井面の反射によつて客席に送り込もうと言ふ方針であります。この音楽堂では、特にそのための天井反射面を幾つにも分解しまして、これだけが一階の客席に對して、これだけが二階の栈敷に對して、これからこれまでが三階の栈敷に對してといふ風に夫々分擔を決めて居ります。つまり必要な部分だけに反射音を送ると同時に、殊に後方の席に對しては多少強度を強めるやう、多少フォーカスするやうに天井曲面が工夫されて居ります。〔原文ママ〕³¹」と分析している。ヴァリラの教会のコンペ案のスケッチについても同様の特徴がみられる。コンペ案ではないが、20/374 は長手方向断面図の教会ホールに縦線が2本引かれている。20/374 の断面図を、同様の構造で図中に音線が描きこまれている 20/375 の断面図に重ねると図9 になる。

³⁰ 佐藤武夫, オーディトリウムの音響的設計に就て, 建築雑誌, 520, 1929.4, p362 より第五圖(音響設計の基本案)を引用。

³¹ 佐藤武夫, オーディトリウムの音響的設計に就て, 建築雑誌, 520, 1929.4, pp362-363 より引用。

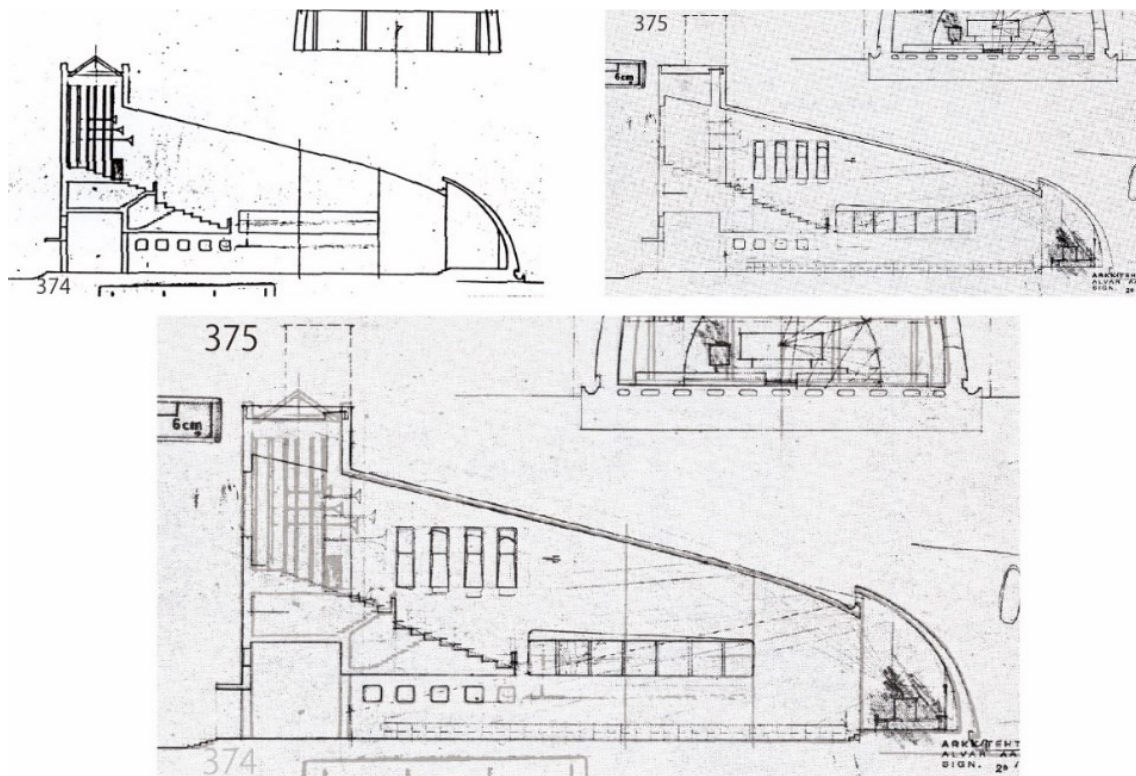


図9. 20/374 と 20/375 における天井の傾きと音線の考察³²
(トリミング・図内書込済)

図9からわかるように 20/375 における祭壇側の線はオルガンロフトの2段目に初期反射音が届く極限の位置に引かれている。そして、この2本とも天井の傾きが変化する地点に引かれている。祭壇側を1本目とすると、祭壇の少し手前から1本目までがオルガンロフトの1段目に届く音を反射する天井、1本目から2本目までがオルガンロフトの2段目に届く音を反射する天井の範囲ではないかと考察する。

³² Alvar Aalto, Göran Schildt: THE ARCHITECTURAL DRAWINGS of Alvar Aalto 1917-1939, Vol.4, Garland Pub., 1994, 左上・右上: p.14, 下: 上2枚を重ねた図

次にメガホン型のアーチ構造と台形平面について考察する。

当時は、側方反射について考えて音響設計は行う時代ではないが、20/369（図10）における音線では、客席後方部にも初期反射音が届くことを確かめる、もしくは届くように台形平面の開き角度を決定したと思われる表現がなされている。講壇からの説法はクリアな音が人々に伝わるのが重要である³³が、台形平面は音の焦点ができやすく、音が一旦広がり、また集中することが繰り返し起こるため、平行な面の間で往復反射が起きる長方形平面よりも乱れた感じの音となる³⁴。

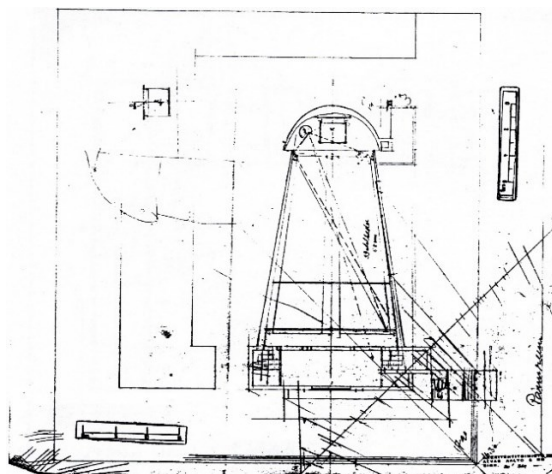


図10. 平面図（20/369）における音線³⁵（トリミング済）

コンペ案に関しても音響について考えられている。床やオルガンロフトの先端の立ち上がり部分、オルガン付近の壁の仕上げ材には吸音するようになっているため、アーチの壁のみが反響すると考えられる。20/379a-bにおいて、「FÖNSTERNISCHER ETC. NÖITRALISERAS ENLIGT PROV〔原文ママ〕 ウィンドウニッチなどテストに従って吸音³⁶」と記されていることから教会ホールの側壁の窓の範囲も音響的に吸音すると考える。また、構造体に関する記述は見られなかった。アーチ構造で無柱空間であることから、コンクリートではないかと推測する。そして、一般的なルーテル教会同様、講壇が左右どちらかの端に寄せられて（ヴァリラの教会では客席より向かって左側）おり、20/379a-bにみられるように祭壇が真ん中という通例に倣って音響も2通り考えられている。しかし、実際オルガンロフトから音を飛ばしても遠くに飛ばず、近い範囲にしか音が届かないので、客席全体に均一な音は届けられないと考察する。

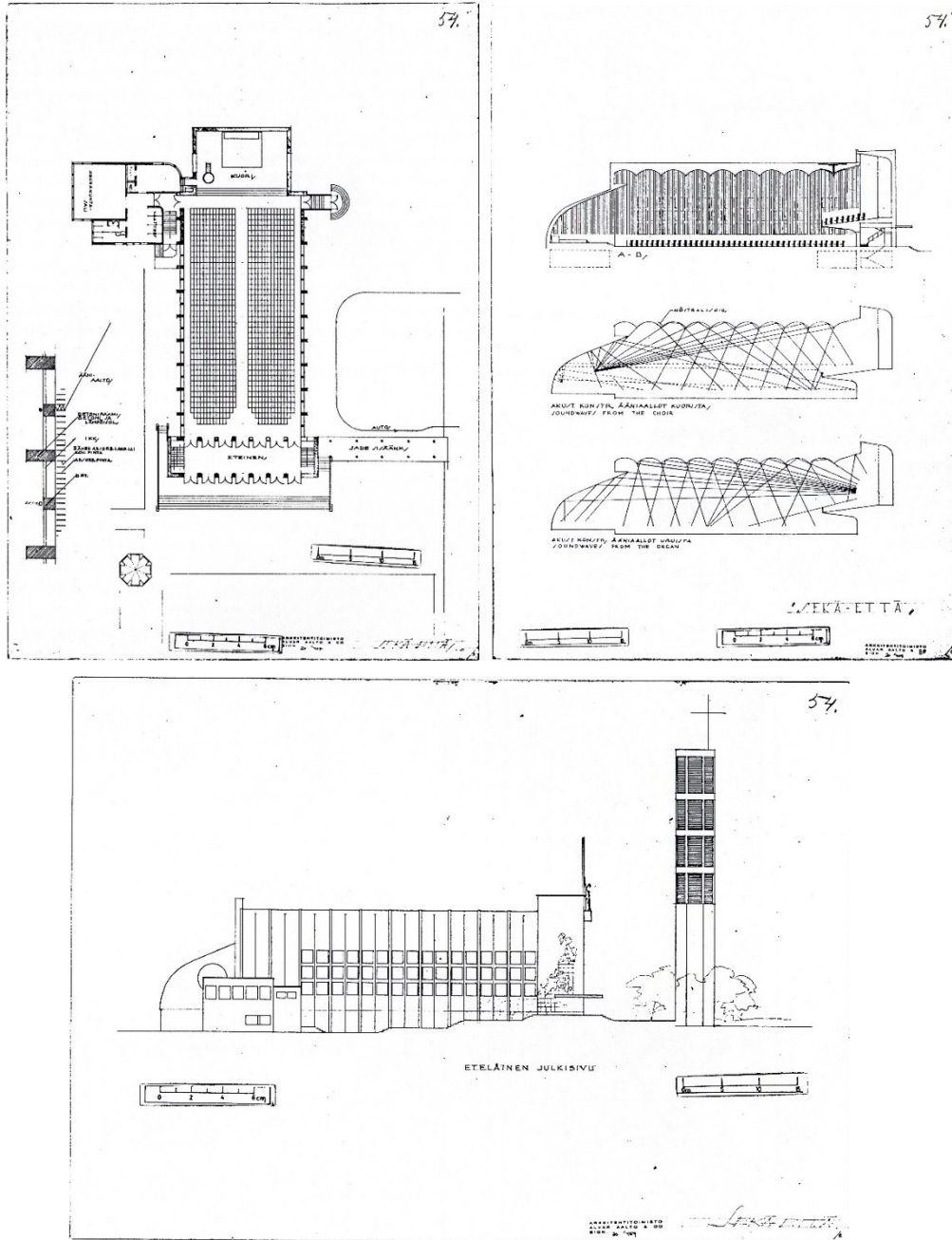
³³ 村井信義、Pierre Perdigon、平澤佳男、パイプオルガンと演奏ホール、日本音響学会誌、39(6)、1983、pp.414-423

³⁴ 橘秀樹、コンサートホールの形と音、生産研究、55(5)、2003.9、pp25-34

³⁵ Alvar Aalto, Göran Schildt: THE ARCHITECTURAL DRAWINGS of Alvar Aalto 1917-1939, Vol.4, Garland Pub., 1994, p.11

³⁶ ガーランド版 VOLUME 4, p16 より引用。訳は筆者による。

II ミカエル・アグリコラの教会 (Mikael Agricolan Kirkko, 1930) ³⁷第1回コンペ



1

20/407 平面図

2

20/409 断面図

3

20/459 立面図

³⁷ Alvar Aalto, Göran Schildt: THE ARCHITECTURAL DRAWINGS of Alvar Aalto 1917-1939, Vol.5, Garland Pub., 1994, 1:p.197, 2:p.198, 3:p.218

(1) 概要

ミカエル・アグリコラの教会 (Mikael Agricolan Kirkko) は 1928 年に Albertinkatu という通りの先端にある工場公園 (テタンピスト, Tehtaanpuisto) の敷地に建設すると決定された³⁸。教会はルター派であった³⁹。審査員はラルス・ソック (Lars Eliel Sonck)⁴⁰ほかであった⁴¹。アアルトの案の規模は空気容積 16200 m³程度⁴²で、教会ホールが地上 2 階、地下 1 階で、教区センターが地上 2 階である。コンペの締切日は 1930 年 11 月 15 日⁴³。アアルトは 9 月中旬にコンペプログラムを受け取り、締切日に提出した³⁴。モットーは『Sekä-Että 同様に⁴⁴』でエントリーナンバーは 54 だった。コンペは 56 案集まるが、機能主義のコンペ案が多く、方針と異なっていたので審査員は新しいコンペを開催することにした³²。2 度目のコンペは「perinnäisten kirkkorakennusmuotojen soveltamisesia [原文ママ] 伝統的な教会の形に従う⁴⁵」必要が追加され、審査員には保守的な 4 人が招待され、司祭 A. J. Bäck⁴⁶、牧師 K. K. Aro⁴⁷、建築家 W. G. Palmqvist⁴⁸、Bertel Jung⁴⁹そして Albert Nyberg⁵⁰となった。規模は 1200 人の座席 (50×84cm)⁵¹がある教会ホールで、敷地は都市景観の理由で工場公園 (テタンピスト, Tehtaanpuisto) の西側、Tehtaankatu 23 に変更となった^{29 34}。1932 年 11 月 1 日が締切日だった³⁴。要件に反して単純な機能主義のラルス・ソックの案が優勝した³²。

³⁸ Marja Terttu Knapas, Soile Tirilä, SUOMALAISTA KIRKKOARKKITEHTUURIA 1917-1970, Museovirasto, 2006, 139p

³⁹ 現存しているミカエル・アグリコラの教会の宗派がルター派である。ミカエル・アグリコラ (Mikael Agricola, 1510-1557) はルター派牧師であり、フィンランド語の本の語源の基礎を作った。

⁴⁰ Lars Eliel Sonck (1970-1956) フィンランドの建築家。

⁴¹ Helsingin seurakuntayhtymä, Mikael Agricolan kirkko - helsinginseurakunnat.fi, <https://www.helsinginseurakunnat.fi/mikaelagricolankirkko/artikkelit/08ce9pkid>, 2020/12/14(アクセス日時)

⁴² この数字は空気容積であるため、アアルトのコンペ案を換算した結果、延床面積は 1800.8 m²となった。

⁴³ Alvar Aalto, Göran Schildt: THE ARCHITECTURAL DRAWINGS of Alvar Aalto 1917-1939, Vol.5, Garland Pub., 1994, p.187

⁴⁴ ガーランド版 VOLUME5, pp.196-200, p218 におけるミカエル・アグリコラの教会のコンペ案 (20/405, 20/406, 20/407, 20/408, 20/409, 20/410, 20/411, 20/412, 20/413, 20/459) に記載。訳は筆者による。

⁴⁵ ガーランド版 VOLUME5, p216 のミカエル・アグリコラの教会の 2 回目のコンペプログラム (20/457) より引用。訳は筆者による。

⁴⁶ Alfred Johannes Bäck (1872-1952) フィンランドの司祭、国会議員。

⁴⁷ ガーランド版 VOLUME5, p216 におけるミカエル・アグリコラの教会の 2 回目のコンペプログラム (20/457) に牧師として名を連ねる人物。ただし、調べてみた結果、詳細はわからない。

⁴⁸ W. G. Palmqvist (1882-1964) フィンランドの建築家。

⁴⁹ Bertel Jung (1872-1946) フィンランドの建築家。

⁵⁰ Albert Nyberg (1877-1952) フィンランドの建築家。

⁵¹ コンペプログラムから必要諸室のみ算出した結果、延床面積は 1454.8 m²となった。

ここで、20/413 (図 11⁵²) におけるアアルトのコンペ案の設計意図を翻訳する。

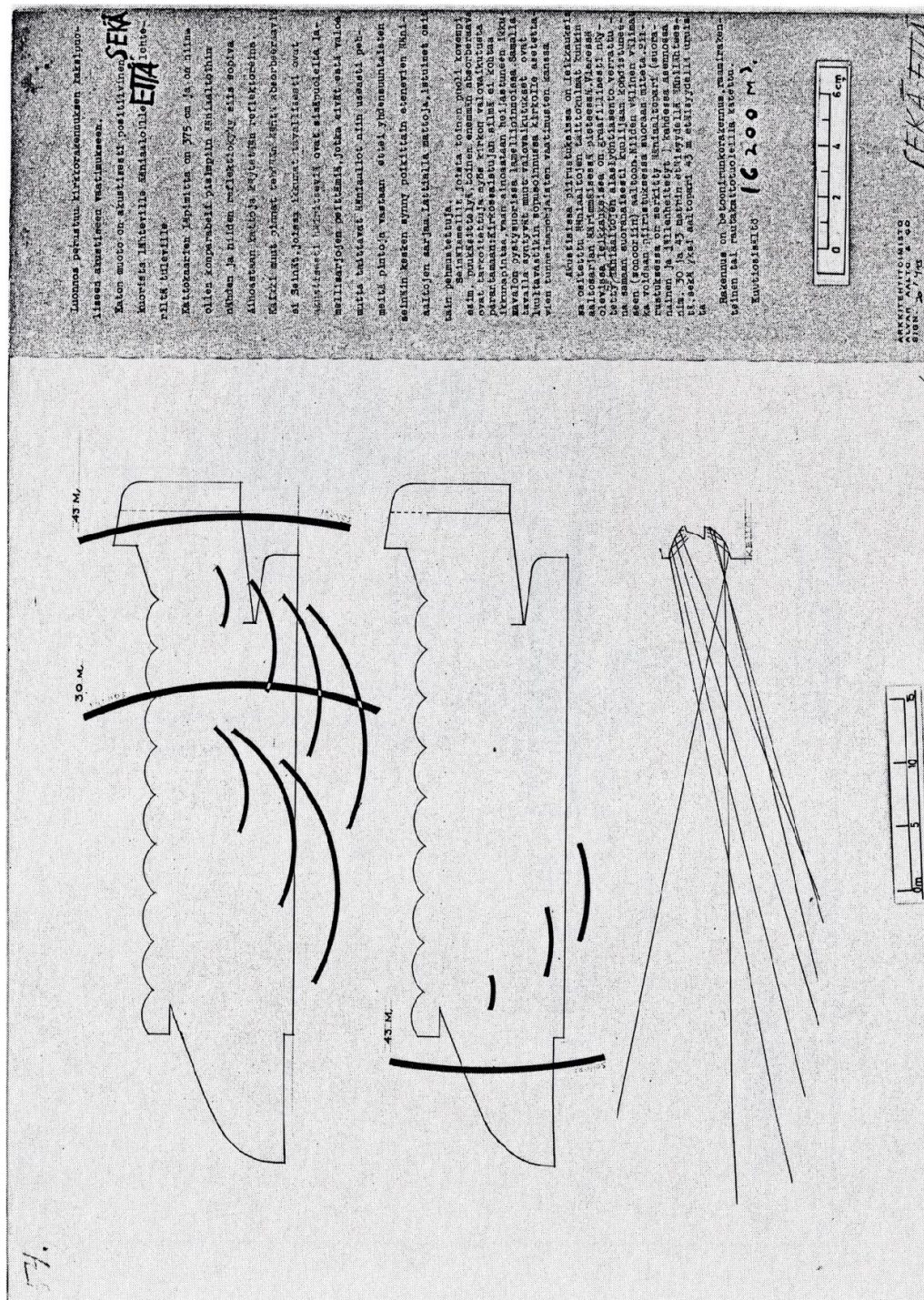


図11. ミカエル・アグリコラの教会の設計意図
(20/413, 363x505mm) (トリミング済)

⁵² Alvar Aalto, Göran Schildt: THE ARCHITECTURAL DRAWINGS of Alvar Aalto 1917-1939, Vol.5, Garland Pub., 1994, p.200

以下の文章は 20/413 に記載された原文を書き起こしたものである。

Luonnos perustuu kirkkorakennuksen kaksipnoliseen akustiseen vaatimukseen.

Katon muoto on akustisesti positiivinen SEKÄ

Kuorfsta lähteville ääniaaloille ETTÄ lehteriltä tuleville.

Kattokaarien läpimitta on 375 cm ja on niin ollen konparabell pisimpiin ääniaaltoihin nähden ja niiden refleattokyky eiis sopiva ainoastaan kattoja käytetään reflektoreina, Katkki muut oinnat tehdään ääntä absorbeeraaviai Seinää, joissa ikkimat tayallisesti ovat akustiassti hlnitseviä ovat sisäpuolelta lamellisarjojen peittämiä, jotka eivät estä valoa mutta taittavat ääniaallot niin useasti pehmeitä pintoja vastaan että yhdensuuntalsten seinäin keaken synny polkittain etenevien ääniaaltojen sarjaa. Lattialla mattoja, istuimet osittain pehmustettuja.

Seinälamellit, joista toinen puoli kovempi esim, puukäsittelyä, toinen enemmän absorberaava ovat tarkoitettuja myös kirkon valovaikutusta parantamaan : Kirkossaistujan silmä ei kohtaa ikkunapintaa, vaan ainoastaan heijastuneen ikkuvavalon pystysuorissa lamellipinnoissa. Samalla tavalla syntyvät muut valovaikutukset ovat luultavastikin sopusoinnussa kirkolle asetettavien tunnelmapohjaisten vaatimusten kanssa.

Akustisissa piirustuksissa on leikkauksissa ositetttu ääniaaltojen taittokulmat kunkin aaltosarjan äärimmäisessä pisteessä. Vieressä olevissa leikkauksissa on graarilliaesti näytetty ääniaaltojen alaslyöntiasento verrattuna samaan suoranaisesti kuulijaan kohdistunesseen (sonooriin) aaltoon. Niiden välinen välimatka voidaan piirustuksessa suoraan miteta.

Piirustuksessa on merkitty ääniaaltopari (suoranainen ja jälleenheitetyt) kahdessa asennossa nim. 30 ja 43 matrin etäisyydellä äänilähteestä sekä yksi aaltopari 43 m etälsyydelläuruista.

Rakennus on betoonirunkorakennus, raamirakentsinen tai rautakattotuoleilla katettu.

Kuutiosisältö 16200 m³ 〔原文ママ〕

以下の文章は前頁の原文を日本語に筆者が翻訳したものである。

スケッチは教会の建物の双極音響要件に基づいています。

屋根の形状は音響的にポジティブです **同様に** (SEKÄ)

祭壇からの音波およびオルガンロフトからの音波 (**それ** (ETTÄ)) に。

ルーフアーチの直径は 375 cm であり、したがって、最長の音波に匹敵し、その反射率は反射板として使用される屋根だけに適しているだけではなく、他の部分はすべて吸音壁で作られています。窓が完全に音響的に不利なところは、内側を一連のラメラで覆い、光を遮らずに、柔らかい表面に対して音波を頻繁に反射させ、平行線の壁が横方向に伝播する一連の音波を生成します。床にカーペットがあり、座席は部分的に布張りされています。

壁のラメラは、片側がより硬く、たとえば木材処理で、もう一方がより吸収性が高く、教会の照明効果を向上させることも目的としています。つまり、教会のなかにいる人々の目は窓の表面に出会うのではなく、反射した窓の光の垂直なラメラの表面にのみ出会います。同じ方法で発生する他のサイレント効果は、おそらく教会に課された雰囲気要求と一致しています。

音響図は、各波系列の極値点での音波の反射角に分割した断面図になっています。隣接する部分は、リスナーに直接適用された同じ (音波) 波と比較して、音波の下向きの位置を示しています。それらの間の距離は、図面で直接測定できます。この図は、2つの位置にある 1 対の音波 (まっすぐおよび取り込んだ) を示しています。音源から 30 および 43 m の距離で、オルガンから 43 m の距離で 1 対の波。

建物はコンクリートのフレームの建物で、フレーム構造または鉄製の垂木 (訳によっては、トラスともとらえられる) で覆われています。

空気容積 16200m³ ⁵³

⁵³ ガーランド版 VOLUME 5, p200 より引用。訳は筆者による。

(2) 音源

音源は祭壇側から2種類の音源とオルガンロフトからの音源の計3種類を設定している。ミカエル・アグリコラの教会はヴァリラの教会での音響の反省をいかし、講壇もしくは祭壇とオルガンロフトの双方向からの音響が考察されているのではないかと考察する。しかし、平面図での音線検討が見当たらないことから、祭壇側の音源の場所を特定することはできないが、20/409のメモから祭壇側のうちひとつは合唱団であることがわかる。もうひとつの音源について考察するため、音線検討を分析した。

ミカエル・アグリコラの教会の天井には、10個のヴォールトがあり、本稿では祭壇側を1つ目として扱う(図12)。

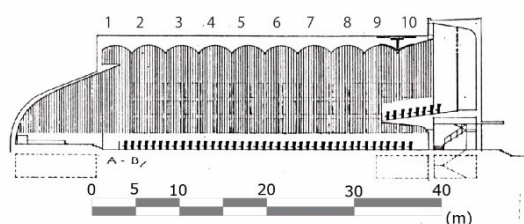


図12. ヴォールトの番号 (20/409)⁵⁴ (トリミング・図内書込済)

まず、描かれた順番に図面を観察した。そのうえで波面の描かれ方を解明するため、図面を重ね合わせたり、音線の経路を測定したりした。

20/394(図13)において、直接音と天井で反射した初期反射音の経路の差を割り出し、位置ごとに計算していることがわかる。

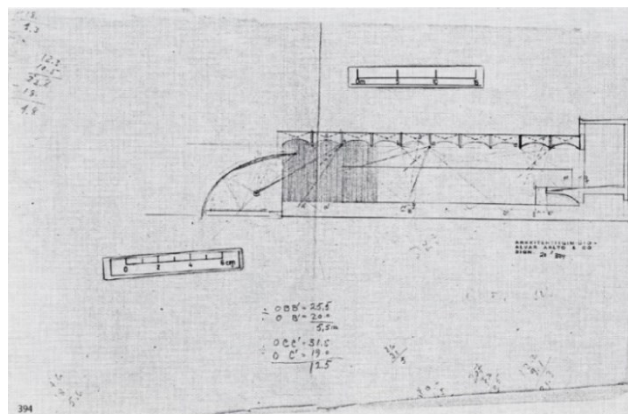


図13. 直接音と初期反射音の経路差の算出⁵⁵ (20/394, 245x395mm)
(トリミング・図内書込済)

⁵⁴ Alvar Aalto, Göran Schildt: THE ARCHITECTURAL DRAWINGS of Alvar Aalto 1917-1939, Vol.5, Garland Pub., 1994, p.198

⁵⁵ Alvar Aalto, Göran Schildt: THE ARCHITECTURAL DRAWINGS of Alvar Aalto 1917-1939, Vol.5, Garland Pub., 1994, p.191

次に 20/403 (図 14) ではヴォールト内での音の反射した経路が描かれておらず、音源の点とヴォールトの先端付近にバツ印で打たれた点のみしか手掛かりがない。

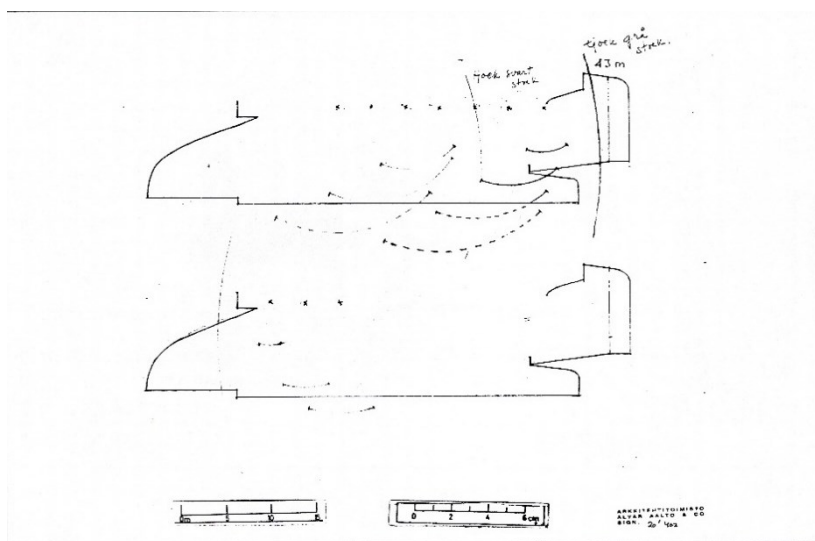


図14. 断面図における音響検討 (20/403, 298×388mm)⁵⁶ (トリミング済)

そこで、この点の位置を確かめるため、コンペ案の 20/409 (図 15) を 20/403 と同じ縮尺にして検証した。

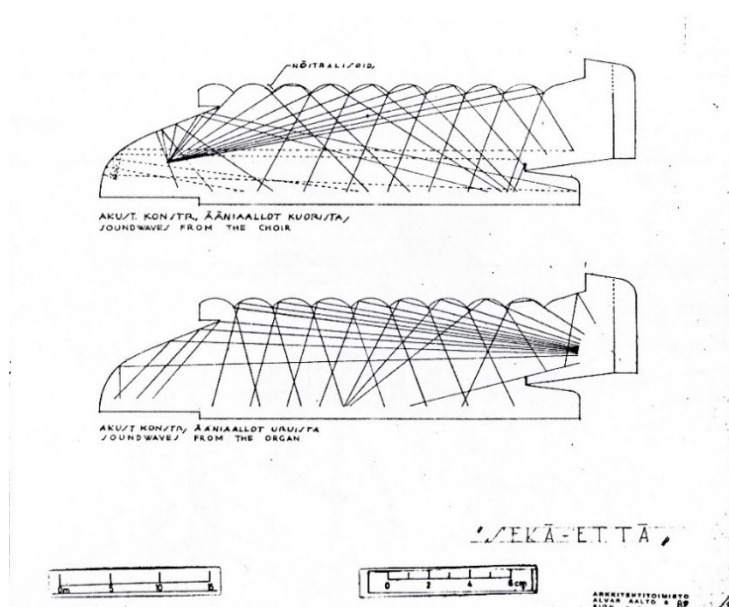


図15. 断面図における音響検討 (20/409)⁵⁷ (トリミング済)

⁵⁶ Alvar Aalto, Göran Schildt: THE ARCHITECTURAL DRAWINGS of Alvar Aalto 1917-1939, Vol.5, Garland Pub., 1994, p.195

⁵⁷ Alvar Aalto, Göran Schildt: THE ARCHITECTURAL DRAWINGS of Alvar Aalto 1917-1939, Vol.5, Garland Pub., 1994, p.198

20/409 において、ヴォールトひとつにつき、2本の音線が描かれている。この音線はそのヴォールトで反射できる極限の音線2本である。あるヴォールト内において鈍角で反射した音波と、鋭角で反射した音波の交点がヴォールトの先端付近にできる。この交点が20/403のバツ印と重なる(図16)。

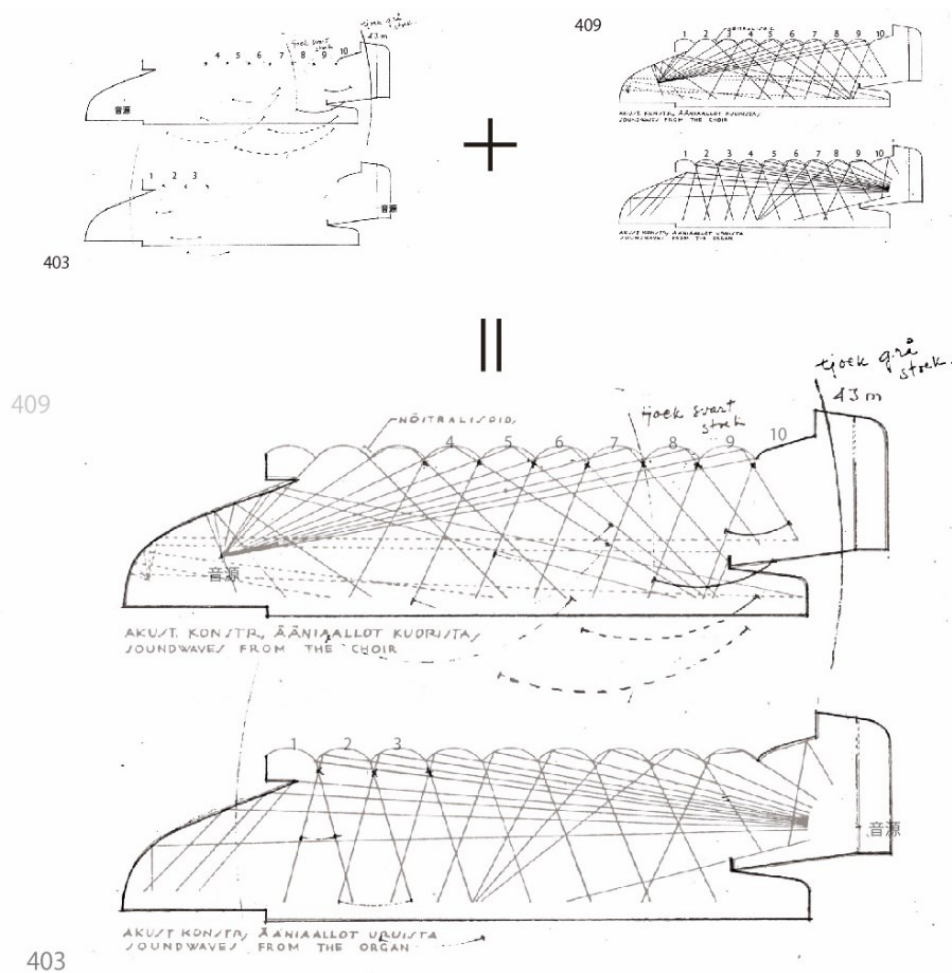


図16. 20/403のバツ印と20/409の交点⁵⁸(トリミング・図内書込済)

⁵⁸ Alvar Aalto, Göran Schildt: THE ARCHITECTURAL DRAWINGS of Alvar Aalto 1917-1939, Vol.5, Garland Pub., 1994, 左上:p.195, 右上:p.198, 下:上2枚を重ねた図

次に、表 4 に示したように、20/403 について 400 分の一の縮尺で音線の経路を測定した。

表 4 20/403 における経路測定

音源位置	経路 時間	区間	ヴォールトの先端位置								
			1-2	2-3	3-4	4-5	5-6	6-7	7-8	8-9	9-10
祭壇側	30m 0.0872s	音源-ヴォールト先端(m)			16	19.3	23				
		ヴォールト先端-到達地点(m)			14	10.7	7				
		合計			30	30	30				
	43m 0.125 s	音源-ヴォールト先端(m)						26.4	30	33.8	37.6
		ヴォールト先端-到達地点(m)						16	12.4	8.6	4.8
		合計						42.4	42.4	42.4	42.4
オルガン	43m 0.125 s	音源-ヴォールト先端(m)	37.9	34	30						
		ヴォールト先端-到達地点(m)	4.8	9.2	13						
		合計	42.7	43.2	43						

音源-ヴォールト先端部-到達地点の経路が祭壇側とオルガンからそれぞれ 43m の場合において、誤差がみられたが、概ね経路は 43m を想定していたものと思われる。

横向きの曲線はそれに対応するヴォールトの鈍角と鋭角の音波の交点を中心とした円弧であり、縦向きの曲線は音源を中心とした円弧であった（図 17）。また、20/403 では横向きの曲線において、実際に客席に届いている範囲が実線の円弧で描かれ、発音から 0.0872 秒（ $\approx 30\text{m} \div 344\text{m}$ ）後、0.125 秒（ $= 43\text{m} \div 344\text{m}$ ）後には客席で吸音されたものは破線で描かれている。この図面は縦の 30m と 43m の曲線の横にそれぞれ「tjock svart strok 太い黒の筋」、「tjock gri strok 太い灰色の筋」⁵⁹とスウェーデン語で書かれており、もともとは色分けされて描かれていた図だったと推測する。

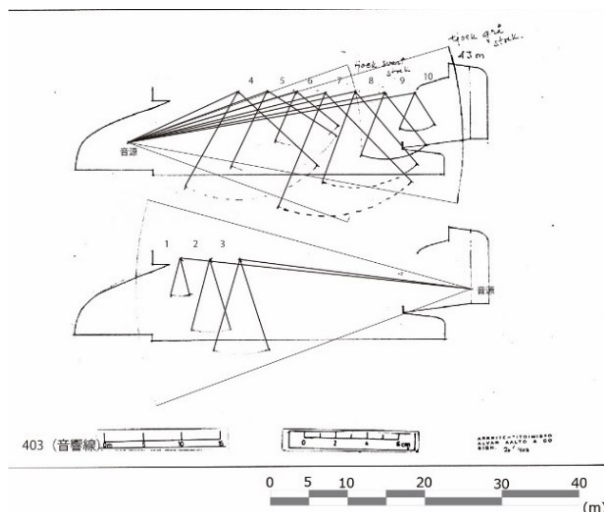


図17. 20/403 (298x388mm) における音線⁶⁰（トリミング・図内書込済）

⁵⁹ 「tjock svart strok」「tjock gri strok」はガーランド版 VOLUME5, p195 における 20/403 に記載。訳は筆者による。

⁶⁰ Alvar Aalto, Göran Schildt: THE ARCHITECTURAL DRAWINGS of Alvar Aalto 1917-1939, Vol.5, Garland Pub., 1994, p.195

また、ヴォールト先端のバツ印が円弧の中心であるか否かを確かめるため、20/403 と 20/409 を使ってヴォールト内の反射経路も含めた音線を赤色で表した。(図 18) 結果、鈍角と鋭角の音波の交点から到達点までの距離はそれぞれ不揃いで、これを円の中心として扱うことは困難である。図からもわかるように赤線の両端を正確に通る 20/403 の円弧は少ない。

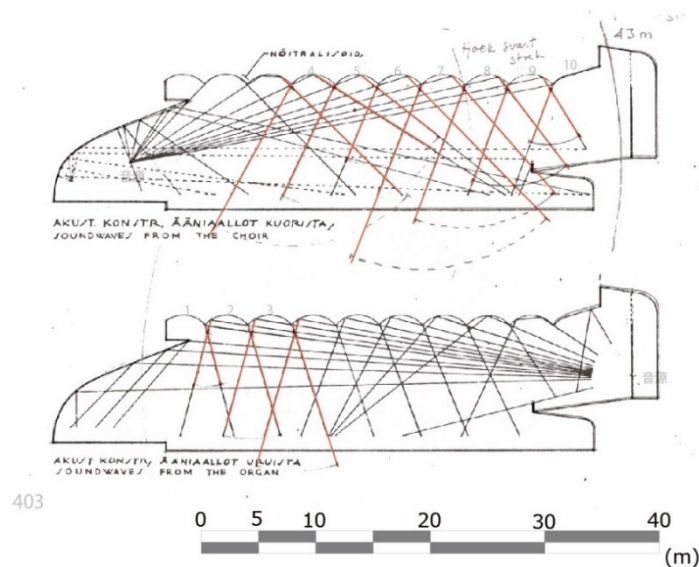


図18. 20/409 (510x363mm) における経路測定⁶¹ (トリミング・図内書込済)

また、20/404 では3つ目のヴォールトで反射した音波の経路が約 25m になる範囲を曲線でつないでいるが、この曲線は円弧ではない (図 19)。

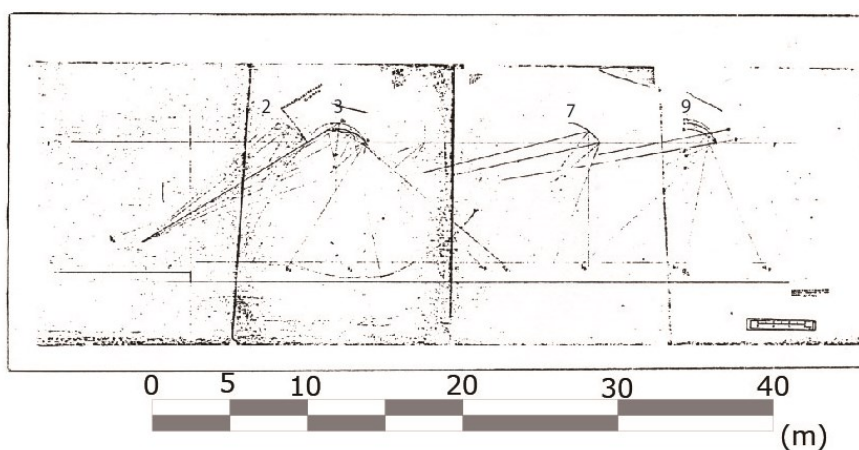


図19. 20/404 (365x1070mm) における円弧⁶² (トリミング・図内書込済)

⁶¹ Alvar Aalto, Göran Schildt: THE ARCHITECTURAL DRAWINGS of Alvar Aalto 1917-1939, Vol.5, Garland Pub., 1994, p.198

⁶² Alvar Aalto, Göran Schildt: THE ARCHITECTURAL DRAWINGS of Alvar Aalto 1917-1939, Vol.5, Garland Pub., 1994, p.196

しかし、コンペに提出している 20/413 の音響の図面は 20/403 と一致している（図 20）。実際の音線では 20/403 のようにきれいな円弧にはならないが、イメージ図としてはこのような図を作ったのではないかと考察する。

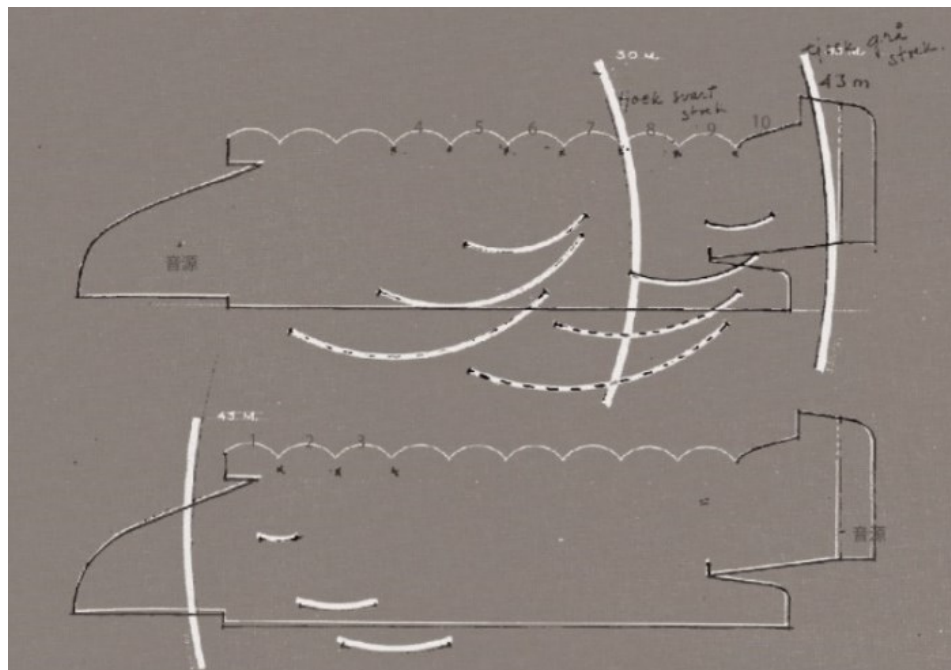


図20. 20/403（黒線 298x388mm）と 20/413（白線 363x505mm）⁶³
（トリミング・図内書込済）

よって、設計意図の「各波系列の極値点での音波の反射角に分割した断面図になっています」との記述は、祭壇が音源の場合、それぞれのヴォールトで反射できる限界の角度をわりだし、祭壇から数えて3つ目から5つ目までのヴォールトと6つ目から9つ目までのヴォールトで反射した音波の経路が、それぞれ 30m と 43m になった音線の先端をつなぎ合わせているのが、7本の横向きの曲線となることを示していると考察する。これは、オルガンが音源の場合も同様である。縦の曲線は音源を中心にとった円弧で、直接音の到達域を表していると考察する。また、天井の分割をして、音響を考察するという点ではヴァリラの教会と同じである。

20/404 と 20/409 において、祭壇から2つ目の天井のヴォールトの先端部が「NÖITRALISOID 吸音⁶⁴」と書かれている。これはここで反響してしまうとヴォールトの円弧の中心を通りエコーとなる恐れがあるため、反響させないようにしたのではないかと考える（図 21）。

⁶³ Alvar Aalto, Göran Schildt: THE ARCHITECTURAL DRAWINGS of Alvar Aalto 1917-1939, Vol.5, Garland Pub., 1994, 黒線：p.195, 白線：p.200

⁶⁴ ガーランド版 VOLUME5, p198 において、20/409 に記載されている。訳は筆者による。

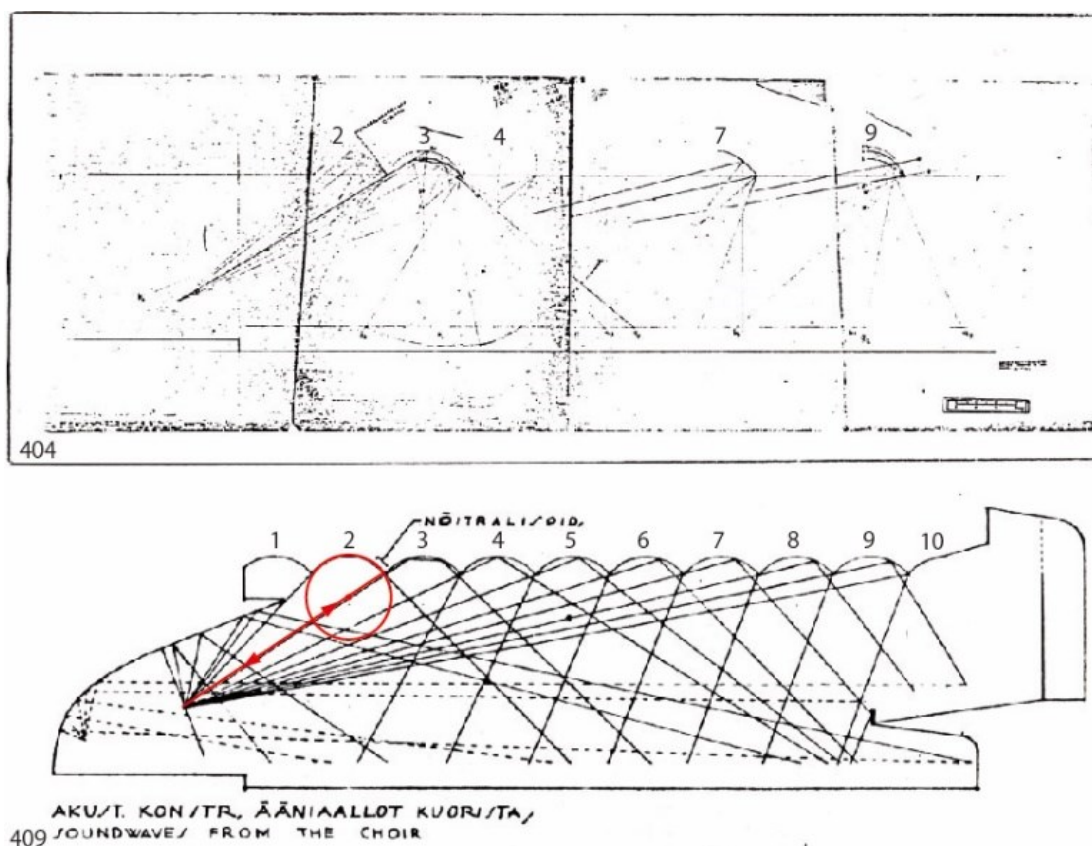


図21. 2つ目の天井のヴォールト⁶⁵（トリミング・図内書込済）

また、「隣接する部分は、リスナーに直接適用された同じ（音波）波と比較して、音波の下向きの位置を示しています。」というのは、直接音より、客席に届く反射音は天井で屈折しているので斜め上から降り注ぐように届くことを表現しているのではないかと考察する。

つまり、コンペに提出した 20/413（図 11）は音源から直接音が届くと同時に反射音が届く範囲を 30m と 43m に場合分けして表現しているのではないだろうか。また、30m と 43m に場合分けしたことの理由は設計意図には書かれていなかった。おそらく、牧師による音声や聖歌の独唱などの弱音源を 30m、聖歌隊やパイプオルガン演奏による楽音などの強音源を 43m とし、十分に聴き取れる距離減衰の限界距離を示していると推測する。

⁶⁵ Alvar Aalto, Göran Schildt: THE ARCHITECTURAL DRAWINGS of Alvar Aalto 1917-1939, Vol.5, Garland Pub., 1994, 上:p.196, 下:p.198

(3) 音響的工夫

ミカエル・アグリコラの教会における音響的工夫は、「ルーフアーチ（ヴォールト）」と「ラメラ構造」の2つである。

ルーフアーチ（ヴォールト）についてまず分析する。設計意図からわかるように、ミカエル・アグリコラの教会では、祭壇とオルガンの双方向からの音響について考察したことを強く強調しているおり、「ルーフアーチの直径は 375 cm であり、したがって、最長の音波に匹敵し」に関して考察する。

ルーフアーチはスケッチから、ヴォールトを指していると考ええる。オルガンの基準ピッチは時代によって差はあるが、400Hz 台である。ルーフアーチの直径が 375cm で最長の音波に匹敵するということに関して、375cm がモジュール寸法となりこれよりも小さな波長帯の音波を拡散反射できるという解釈であり、これよりも大きな波長は大部分が低周波で閾値以下となり、反射できなくても考慮する必要がないと判断したのではないかと考察する。Weston はミカエル・アグリコラの教会のヴォールトについて「Although ill-conceived in acoustic terms - the cusps of the vaults would have created serious problems - [原文ママ] 音響的にはよく考えられていないが（ヴォールトの尖端は深刻な問題を引き起こしていた）⁶⁶」と評している。これはヴォールトの凹面に僅かな入射角度の違いで生じる音波の干渉が引き起こすカラーレーションに言及しているものと推測する。

「ラメラ構造⁶⁷」は設計意図及び 20/407 の詳細図（図 22）から、ラメラとは木製のルーバー兼吸音板のことを指していると推測する。「窓が完全に音響的に不利なところは、内側を一連のラメラで覆い」という記述から、窓ガラスは音響的に不利とアアルトは判断し、ラメラで覆ったと考えられる。「光を遮らずに、柔らかい表面に対して音波を頻繁に反射させ、平行線の壁が横方向に伝播する一連の音波を生成します」とは、音波がラメラの二面間で反射と吸音を繰り返し、効率的に吸音するということを意味していると考ええる。設計意図では、「壁のラメラは、片側がより硬く、たとえば木材処理で、もう一方がより吸収性が高く、教会の照明効果を向上させることも目的」とされているが、20/407 に

⁶⁶ Richard Weston, Alvar Aalto, Phaidon Press, 1997, p200 より引用。訳は筆者による。

⁶⁷ 「LAMELLA」は、THE NEW OXFORD ILLUSTRATED DICTIONARY には、「Thin plate, scale, layer, or film, esp. of bone or tissue. 薄いプレート、スケール、層、または膜、特に骨または組織の。（訳は筆者による）」と記されており、ENCYCLOPÆDIA BRITANNICA には、「in natural history, denotes very thin plates, such as the scales of fishes composed of. 博物学では、魚の鱗などで構成される、非常に薄いプレートを示す。（訳は筆者による）」と記されている。よって、筆者は「薄い板や層状のもの」と考える。

- ・ Text of the Oxford Illustrated Dictionary edited by J. Coulson, C. T. Carr, Lucy Hutchinson and Dorothy Eagle; illustrations edited by Helen Mary Petter. Second edition revised by Dorothy Eagle with the assistance of Joyce Hawkins., THE NEW OXFORD ILLUSTRATED DICTIONARY, Oxford University Press, 1978
- ・ SOCIETY of GENTLEMEN in SCOTLAND., Encyclopædia Britannica, or, A dictionary of arts and sciences, compiled upon a new plan : in which the different sciences and arts are digested into distinct treatises or systems, and the various technical terms, &c. are explained as they occur in the order of the alphabet, Edinburgh : Printed for A. Bell and C. Macfarquhar, and sold by Colin Macfarquhar, 1771

おける指定では、吸音するスリットと反射するスリットを交互に配していると思われる。
後者の場合、音波を適度に拡散し過度の吸音を望まなかったのではないだろうか。

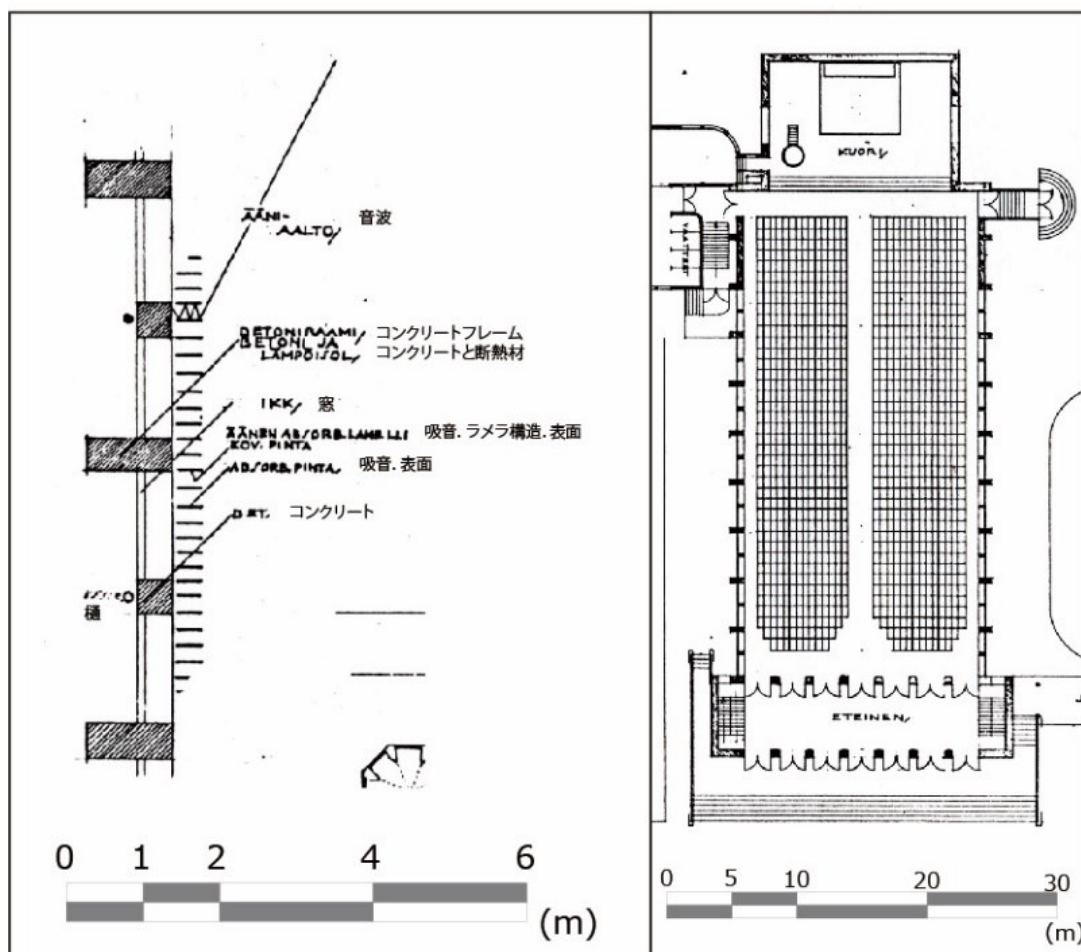
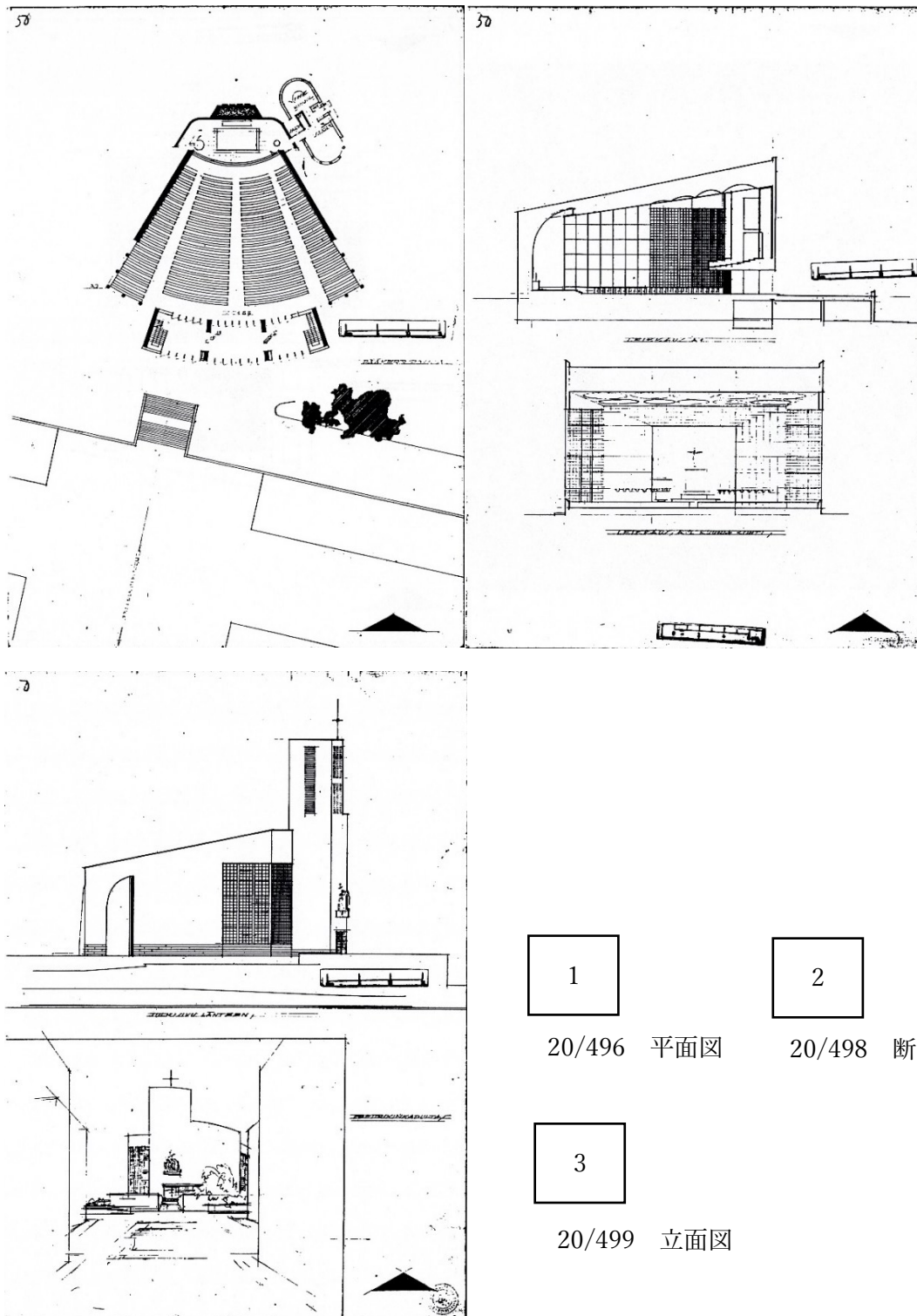


図22. 20/407 における壁のラメラ⁶⁸ (訳は筆者による) (トリミング・図内書込済)

⁶⁸ Alvar Aalto, Göran Schildt: THE ARCHITECTURAL DRAWINGS of Alvar Aalto 1917-1939, Vol.5, Garland Pub., 1994, p.197

III テンペリアウキオの教会 (Temppeliaukion Kirkko, 1933) ⁶⁹



⁶⁹ Alvar Aalto, Göran Schildt: THE ARCHITECTURAL DRAWINGS of Alvar Aalto 1917-1939, Vol.6, Garland Pub., 1994, 1:p.37, 2:p.38, 3:p.39

(1) 概要

テンペリアウキオの教会 (Temppeliaukion Kirkko, 1933) はヘルシンキの Etu-Töölön 地区の都市計画では 1906 年から Temppelikatu と Lutherinkatu という通りに面する土地が予約されていた。教会はフィンランド福音ルター派である⁷⁰。

アアルトの案の規模は、教会センターが地上 2 階建てで 1286 人収容でき、教区センターと居住空間が連なった建物が地下 1 階で、容積が 22500 m³程度⁷¹である。コンペには伝統的な教会の建物が要求された。1933 年 1 月 16 日が締切日であった。モットーは不明だが⁷²、エントリーナンバーは 50 であった。57 の案がエントリーしたが、1 等はなしで、1960-61 年の第 3 回コンペで現在のティモ・スオマライネン (Timo Suomalainen) とトゥオモ・スオマライネン (Tuomo Suomalainen) の兄弟⁷³による『Kivikirkko 石の教会⁷⁴』が 1 等となる。

⁷⁰ 現存しているテンペリアウキオの教会の宗派がフィンランド福音ルター派である。

⁷¹ この数字は空気容積であるため、アアルトのコンペ案を換算した結果、延床面積は 2341.487 m²となった。

⁷² コンペの提出図面はすべて塗り潰された三角形が描かれている。これがモットーの可能性あり。

⁷³ Timo Suomalainen (1928-) フィンランドの建築家。Tuomo Suomalainen (1931-1988) フィンランドの建築家。

⁷⁴ Temppeliaukion kirkko - Temppeliaukio | Timo Suomalainen, <http://www.temppeliaukio.fi/artikkeli1.htm>, 2020/12/31 (アクセス日時) より引用。訳は筆者による。

ここでコンペに提出した設計意図の翻訳を行う。(図 23⁷⁵)

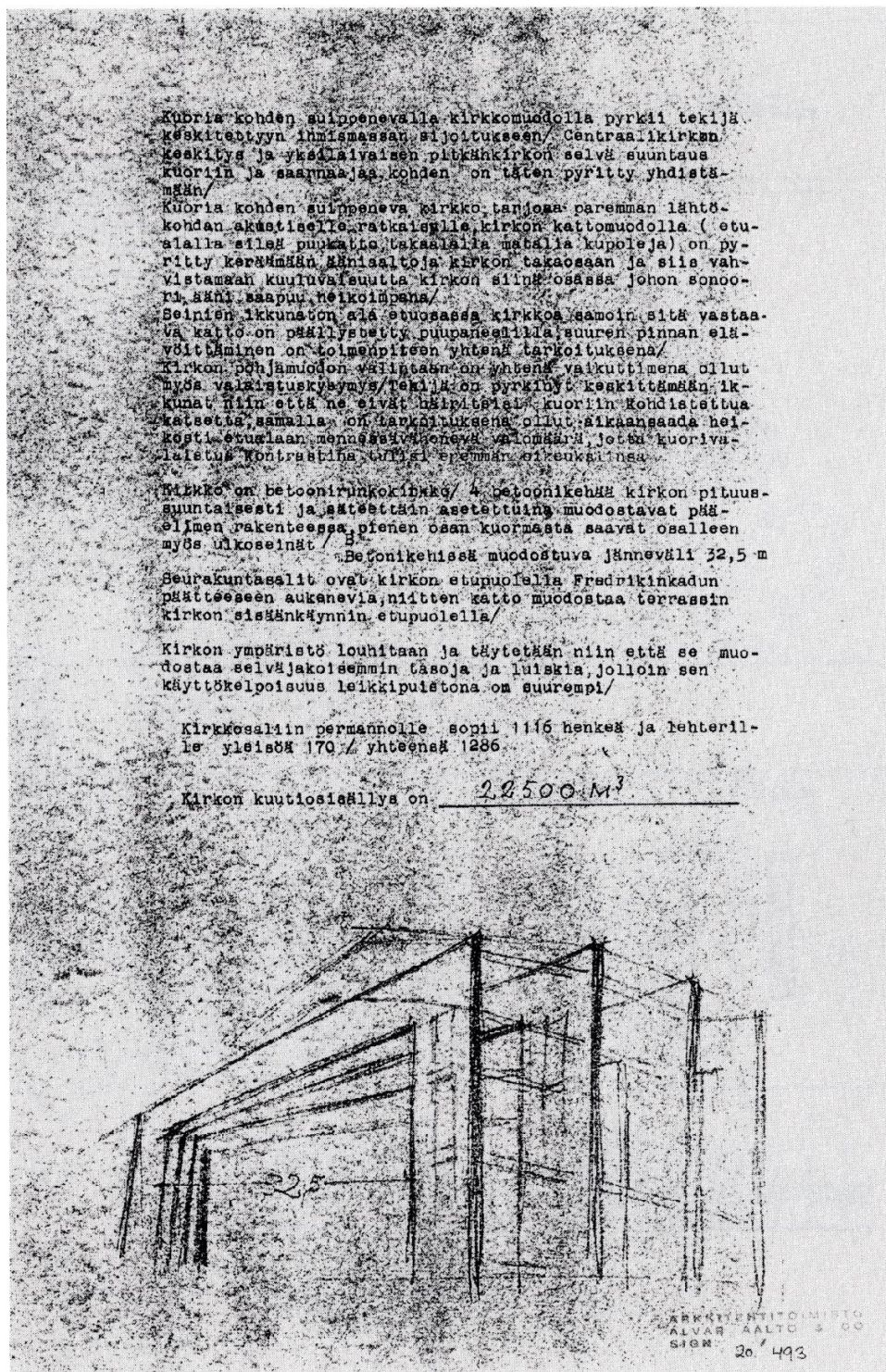


図23. テンペリアウキオの教会の設計意図 (20/493, 420x296mm) (トリミング済)

⁷⁵ Alvar Aalto, Göran Schildt: THE ARCHITECTURAL DRAWINGS of Alvar Aalto 1917-1939, Vol.6, Garland Pub., 1994, p.36

以下の文章は 20/493 の原文を書き起こしたものである。

Kuoria kohden suippenenevalla kirkkomuodolla pyrkii tekijä keskitettyyn ihmismassan sijoitukseen/.Centraalikirkon keskityä ja yksilaivaisen pitkähkirkon selvä suuntaus kuoriin ja saanaajaa, kohden on taten pyritty yhdistämään/

Kuoria kohden suippeneva kirkko tarjoaa paremman lähtökohdan akustiselle ratkaisulle, kirkon kattomuodolla (etualalla sileä puukatto, takaalalla matalia kupoleja) on pyritty keräämään ääniaaltoja kirkon takaosaan ja siis vahvistamaan kuuluvaisuutta kirkon siinä osassa johon sonoori ääni saapuu heikoimpana/

Seinien ikkunaton ala etuosassa kirkkoa samoin sitä vastaava katto on päällystetty puupaneelilla, suuren pinnan elävöittäminen on toimenpiteen yhtenä tarkoituksena/ Kirkon pohjamuodon valintaan on yhtenä vaikuttimena ollutmyös valaistuskysymys/Tekijä on pyrkinyt keskittämään ikkunat niin että ne eivät häiritsisi kuoriin kohdistettua katsetta, samalla on tarkoituksena ollut aikaansaada heikosti etualaan mennessävähonevä valomäärä, jotta kuorivalaistus kontrastina turisi enemmän oikeuksiinsa

Kirkko on betoonirunkokiokko/ 4 betoonikehää kirkon pituussuuntaisesti ja säteettäin asetettuina muodostavat pääelimen rakenteessa, pienen osan kuormasta saavat osalleen myös ulkoseinät/ B [ママ]

Betoonikehissä muodostuva jänneväli 32,5 m

Seurakuntasalit ovat kirkon etupuolella Fredrikinkadun päätteeseen aukenevia, niitten katto muodostaa terrassin kirkkon sisäänkäynnin etupuolella/

Kirkon ympäristö louhitaan ja täytetään niin että se muodostaa seiväjakoisemmin tasoja ja luiskia, jolloin sen käyttökelpoisuus leikkipuistona on suurempi/

Kirkkosaliin permannolle sopii 1116 henkeä ja lehterille yleisöä 170 / yhteensä 1286

Kirkon kuutiosisällys on 22500m³ [原文ママ]

以下の文章は前頁の原文を日本語に筆者が翻訳したものである。

祭壇に向かって先細りする教会の形は、人々を集中配置するためです。

教会の中心的な集中と、祭壇と受け手に向かう単一の長い教会⁷⁶の明確な傾向、目的は団結することでした。

祭壇に向かって先細りになっている教会は、音響ソリューションのより良い出発点を提供します。教会の屋根の形状（手前の滑らかな木製の屋根、後ろの低いドーム）は、教会の後ろに音波を収集、したがって、響き渡る音波が最も弱い教会の部分への帰属を強化するために使用されています。

教会の正面同様対応する屋根と壁の窓の領域は木製パネルで覆われ、大きな表面の盛り上げは、対策の目的の一つです。

教会の平面図の選択に影響を与える要因の1つは、照明の問題でもあります。作者は、祭壇に向けられた視線を妨げないように、窓を中央に配置すると同時に、前景に入るときにかすかに減少する光の量を提供して、祭壇の照明がその権利と対照的になるように目指しました。

教会はコンクリートのフレームサイズ/構造内の本体の構造内に縦方向と放射状に配置された4つのコンクリートの外周であり、外壁も荷重のごく一部を受け取ります/B〔ママ〕
コンクリートフレームに形成されたスパンは32.5メートルです

教区のホールは教会の前から Fredrikinkatu の終わりまで開いており、その屋根は教会の入り口の前にテラスを形成しています/

教会の周囲は発掘されて埋められているので、レベルと傾斜が分かれています、遊び場としての使いやすさが大きくなっています/

教会ホールは、メインフロアに1,116人、ギャラリーに170人/1286人収容できます。

空気容積は22500 m³。⁷⁷

⁷⁶ 筆者はバシリカ様式の教会のことを指していると考察する。

⁷⁷ ガーランド版 VOLUME6, p36 より引用。訳・注は筆者による。

(2) 音源

テンペリアウキオの教会の音源は祭壇側からのみ考察された痕跡がある。設計意図から
も音源は祭壇側からが主に考えられていると思われる。

(3) 音響的工夫

テンペリアウキオの教会の音響的工夫は「祭壇後壁」、「ヴォールト」、「扇形平面」である。

「祭壇後壁」について、設計意図では「教会の屋根の形状（手前の滑らかな木製の屋根、後ろの低いドーム）」と書かれている。この「手前」とはおそらく教会ホールの入り口側のことでヴォールト部分が木製になっており、「後ろの低いドーム」は祭壇側のドームのことだと推測する。この屋根の形状によって「教会の後ろに音波を収集、したがって、響き渡る音波が最も弱い教会の部分への帰属を強化する」とされている。側方反射について考慮する時代ではないが、断面的な反射を考慮していると思われる。

「ヴォールト」について、「教会の正面同様対応する屋根と壁の窓の領域は木製パネルで覆われ、大きな表面の盛り上げは、対策の目的の一つ」では、教会のファサード（20/500）と長手方向断面図（20/498）の側壁の開口部を覆う格子状のものを指していると推測する。また、「大きな表面の盛り上げ」とは、ヴォールトのことではないかと考える。設計過程のスケッチ（図24）からわかるように音響的にヴォールトを扱っている。20/472 からわかるように、オルガンロフト側のヴォールトがあることによって、オルガンの初期反射音をヴォールトがないときに比べて遠くに届けることができる。また、ミカエル・アグリコラの教会にもみられたような横向きの曲線も見られる。

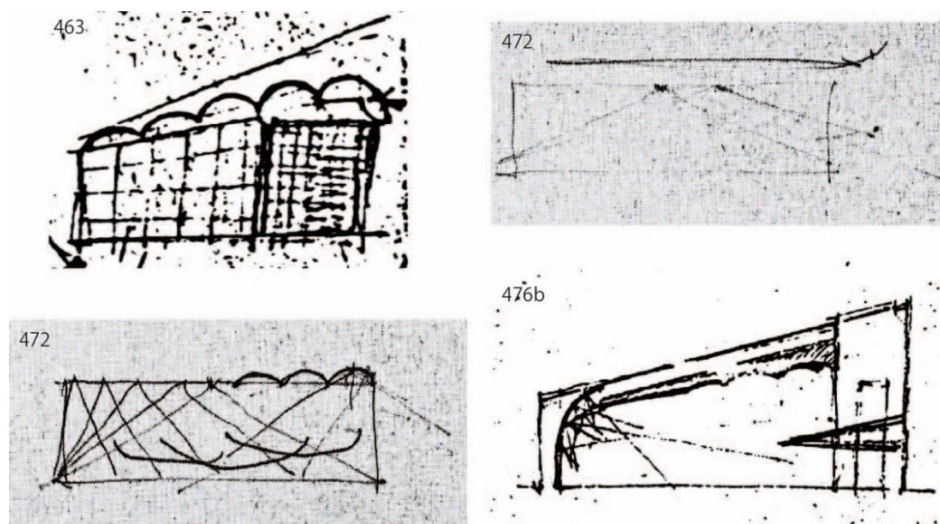


図24. ヴォールトと音響のスケッチ⁷⁸（トリミング・図内書込済）

「扇形平面」について、設計意図が明確に書かれており、平面的には単一の長い教会に倣って、会衆の意識を集中させるための形で、音響と照明の問題に対応するためとされている。

⁷⁸ Alvar Aalto, Göran Schildt: THE ARCHITECTURAL DRAWINGS of Alvar Aalto 1917-1939, Vol.6, Garland Pub., 1994, 20/463:p.26, 20/472:p.28, 20/476b:p.30

2.1.2 ヴィープリの図書館 (1927-35)



写真2 ヴィープリ（ヴィーボルク）の図書館 Armin Linke 撮影⁷⁹（2014）

(1) 概要

アアルトは1927年に新しいヴィープリの図書館のデザインコンペティションで優勝し、「W.W.W.」というペンネームを付けた。

競争提案から最終設計段階までの期間は5年間続いた。その間、ヨーロッパの建築とアアルト自身の建築思考プロセスの両方で多くのことが起こった。1933年12月に最終的な図面が作成される頃には、アアルトは機能主義者となっていた。この図書館が1935年に完成した際、世界的な注目を集め、パイミオ療養所との相乗効果で、アアルトをモダニズム建築家の代表者の1人に引き上げた⁸⁰。

(2) 音源

アアルトは、図25のように断面図で音線検討を複数回行っている。図25では、天井での反射の向きを話者が立つ場所を前として、「前方-赤」と「後方-黒」で色分けして領域を示している。このことから、前方に立つ話者が音源である。

⁷⁹ 『アルヴァ・アアルト もうひとつの自然 - 美術手帖』 <https://bijutsutecho.com/exhibitions/3225>（2022/12/30 アクセス）

⁸⁰ 『Alvar Aalto Library - Alvar Aalto Foundation』 <https://www.alvaraalto.fi/en/architecture/alvar-aalto-library/>（2022/12/30 アクセス）

(3) 音響的工夫

ヴィープリの図書館の主な音響的工夫は「波打つ天井」である。設計意図としては、天井での反射音により話者の声がどこにいても満遍なく聞こえるように長細い木の板の連続で設計している。実際は梁を隠すという意味では効果的だが平面形状が細長い長方形であったことが原因で繰り返し反射が側壁で行われており、おそらくアアルトはこの側方反射音を考慮しておらず、そこまで成功した例ではないと近年の研究で結論付けられている。

また、Kang(2002)⁸¹によると、波状の天井はより拡散反射を提供し、拡散反射面では長さに沿った音の減衰が滑らかな面よりも大きいことが理論的および実験的に証明されている。これは、拡散反射面では、後方散乱により一部の音響エネルギーが音源に向かって再分配されるためである⁸²。

⁸¹ Kang, J. Acoustics of Long Spaces: theory and design guidance, Thomas Telford, London.2002

⁸² Peter Blundell Jones, Jian Kang, Acoustic form in the Modern Movement, Cambridge University Press, 02 September 2003

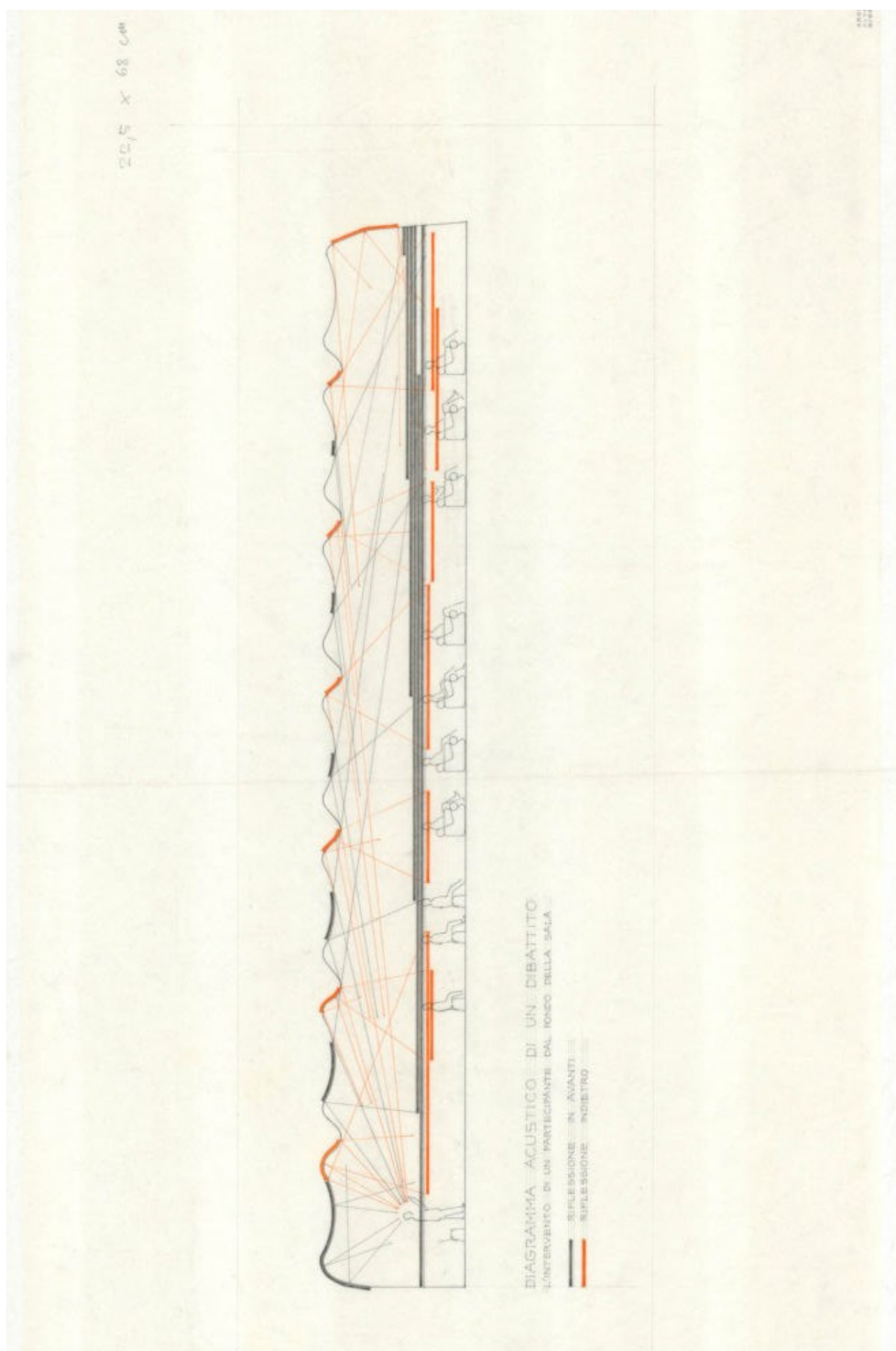


図25. 43/480 講堂の断面図⁸³

⁸³ 『Alvar Aalto Library - Alvar Aalto Foundation』 <https://www.alvaraalto.fi/en/architecture/alvar-aalto-library/>
(2022/12/30 アクセス)

2.2 1950 年代

2.2.1 文化の家 (1952-58)



写真3 文化の家 外観（左）/内観（右）⁸⁴
（アルヴァ・アアルト財団 Maija Holma 撮影）

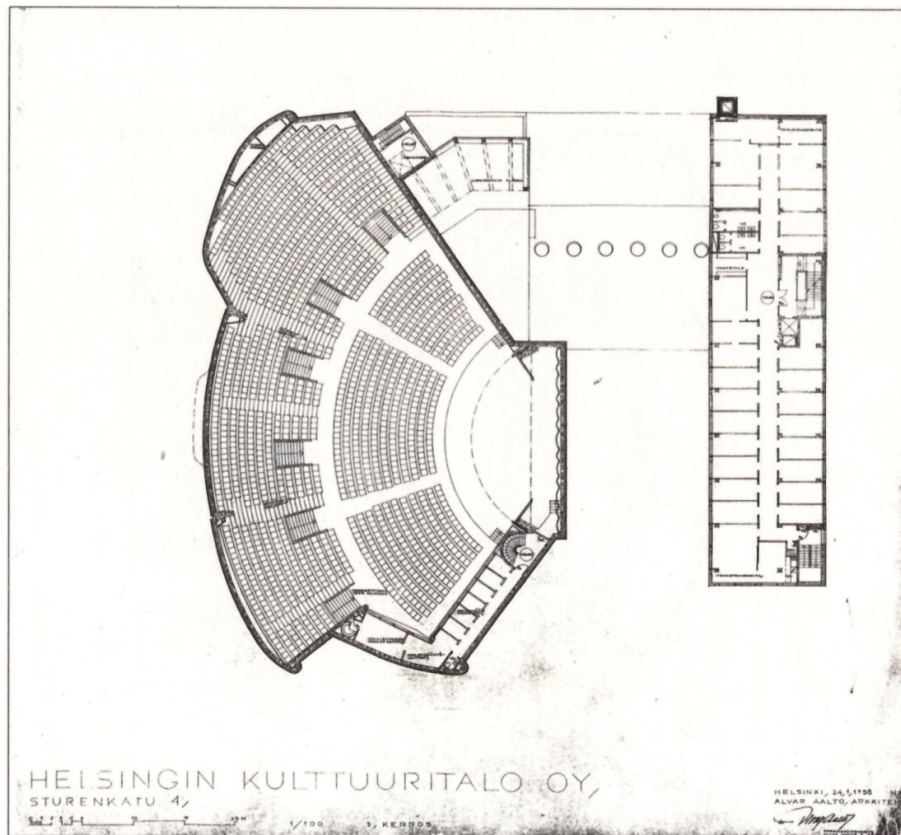


図26. 平面図⁸⁵

⁸⁴ 『House of Culture - Alvar Aalto Foundation』 <https://www.alvaraalto.fi/en/architecture/house-of-culture/> (2022/12/30 アクセス)

⁸⁵ Alvar Aalto kulttuuritalo : House of Culture Helsinki / [edited by Harry Charrington]. -- Finnish Building Centre : Rakennustieto oy, c1998 p.38

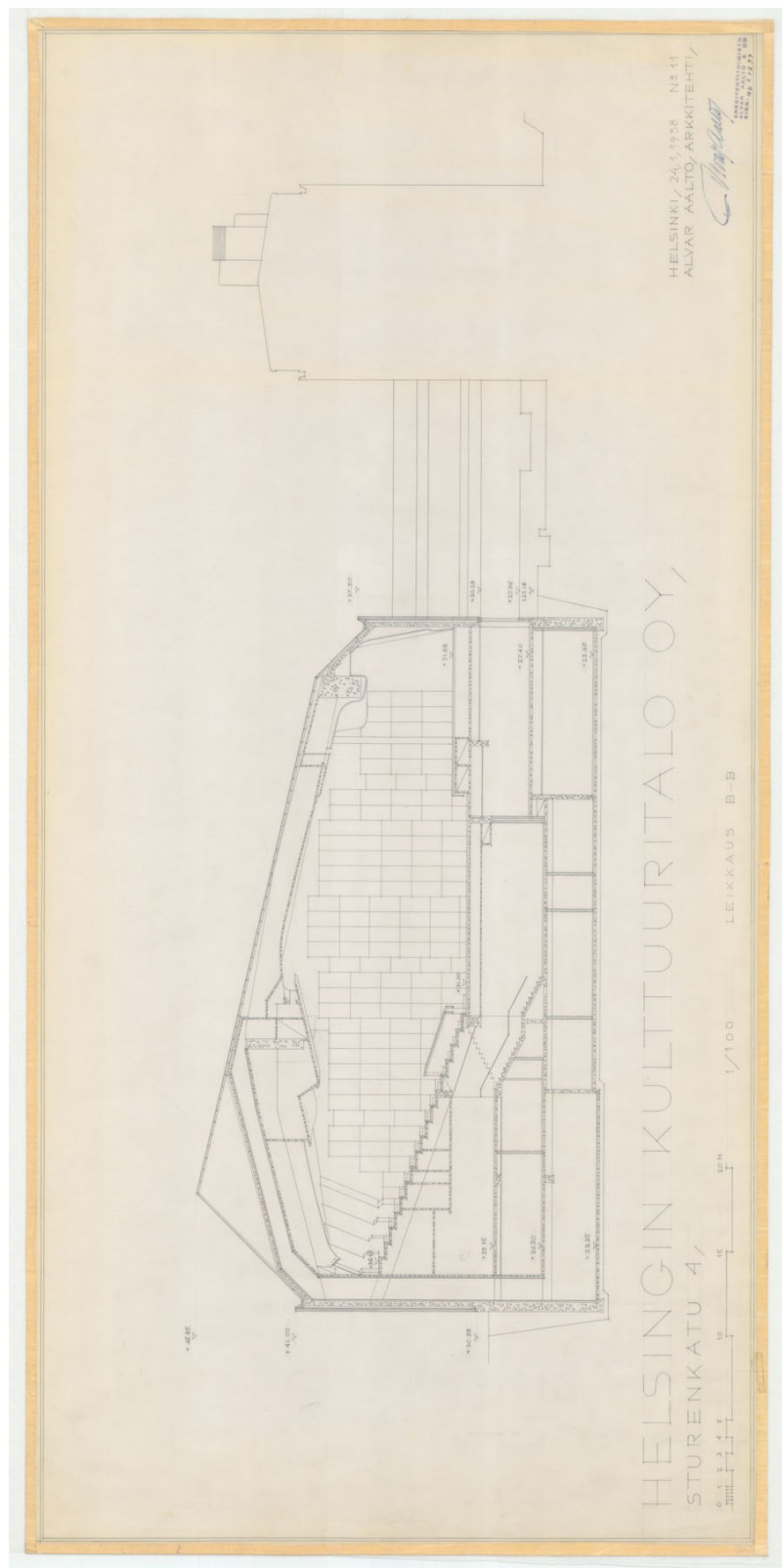


図27. 46/1299 B-B 断面図 1/100 1815×908mm
アルヴァ・アアルト財団所蔵

(1) 概要

文化の家はフィンランドの首都ヘルシンキの Sturenkatu に面する敷地に建つ、いくつかの労働組合の会議場である。写真 3 に示す外観と内観をしており、図 26 のような左右非対称の扇形のような平面に 1500 の席を擁する。コンサートと会議の両方に使うことができる。

完成当初は音響的工夫がよく施された作品であり、最も成功した例と言われていた。その音響はこけら落とし以来賞賛されているうえ、会議に適しており、そして聞くのと同じくらい演奏するのも良いとされていた。アアルトのコンセプトのチューニングが成功したのは、フィンランド放送会社で働いていた音響エンジニアのパーヴォ・アルニが、会議と音楽の両方を扱う知識を音響コンサルタントとして彼に助言したおかげと考えられている。また、オーディトリウム天井が高くなったのもアルニの扇動によるものである。アアルトは当初、天井に可動式浮雲パネルを構想していたがアルニに思いとどまらせられたのだろうと言われている。アアルトは、さまざまなイベントの要件に応じて側壁の吸音パネルを調整できるようにすることを計画していたが、これは不必要であることが判明し、製造時に固定されている⁸⁶。

アアルトによれば、講堂の形式も音響上の考慮事項によって決定されている。

「空間のさまざまな用途には一流の音響が必要であり、それが形の理由であり、木とレンガを組み合わせたコンクリートの曲面です。特別に設計された壁と天井の表面は、音波を吸収および反射します。代替の壁パネルは、建築のリズムを乱すことなく、空席や満席、コンサートや会議など、さまざまな音響ニーズに使用できます。」⁷⁸

音響学専門家のベラネク (Leo Leroy Beranek, 1914-2016) は自身の著書『音楽と音響と建築 (1972 年版)』にて、次のように評している。

「ヘルシンキの Kulttuuritalo の建物は、内部、外部いずれも壮観である。天井の形が、効果的に短い初期時間遅れを与えるようになっているので、このホールは短い残響時間や広い扉型をした平面から予想されるよりも、ずっと良い音がする。私が Kulttuuritalo を訪れたとき、ヘルシンキ放送局の小さなオーケストラがリハーサルを行っていた。リハーサルの間に、ヘルシンキ交響楽団のディレクターであるタウノ・ハニカイネンと話すことができた。彼の意見によると、これはヘルシンキで一番良いコンサートホールであり、演奏者たちは互いに良く聞き合えるし、聴衆との一体感もよく、またここでのピアノの音はフィンランドのどこのホールよりも良いということである。高音部は力強くかつ澄んでいるし、その音響は、聴衆が加わったときも少しも変化しない。少なくとも聴衆

⁸⁶ Alvar Aalto kulttuuritalo : House of Culture Helsinki / [edited by Harry Charrington]. -- Finnish Building Centre : Rakennustieto oy, c1998

のいないときに聴いたところでは、このホールは、鮮明度はすぐれているし低音部は適当で、非常に良いと思う。ホール全体の音の分布は一様である。聴衆がいと幾分デッドになるであろう。ダビッドオイストラッフ (David Oistrakh, バイオリニスト) は次のように言った。「素晴らしい音響で、このホールで演奏するのは驚くほど気楽で楽しい。音を出すのとやすく自由に自然に伸びる。演奏の色彩と音量感は十分に維持される。」

ベラネク著、日高孝之・永田穂訳『音楽と音響と建築』(1972)によると技術資料と建築と構造の詳細は、

技術情報

$V=10,000\text{ m}^3$	$T_{500-1000}(\text{Occup.})=1.05\text{sec}$	$S_T=1,110\text{ m}^2$
$N_A=1,500\text{seats}$	$S_A=945\text{ m}^2$	$S_A/N_A=0.63\text{ m}^2$
$t_l=26;17\text{msec}$	$S_O=166\text{ m}^2$	$V/S_T=8.97\text{m}$

建築と構造の詳細

用途:コンサート, 集会, 会議

天井:コンクリートに 25~45mm 厚のプラスター。

側壁: 一部は音の拡散のために木の枝を表面につけたコンクリート:一部は 22mm 厚の木の羽目板で裏に 14.2cm の空気層。

後壁: 一部は 22mm の木の反射板:一部はコンクリート。

床:メインフロアは、51mm の空気層の上にフローリング 22mm 層; スタディウムはコンクリートにリノリューム敷。

ステージの床: 約 76.2cm の空気層の上に 45mm 厚の木造。

ステージの高さ: 客席最前列の床から 0.88m

ステージ回り: 25mm 厚の木板, プラスター塗り、少し内側に傾き、円筒状の拡散体がある 天井は 25mm 厚の木にプラスター。

客席: 腰掛けの表と背もたれの前面は詰めものをして布張り腰掛けの裏は有孔の合板。

References: Drawings from Alvar Aalto. Details from Paavo Ami, Finnish Broadcasting Company, Helsinki. Photographs by Kuvatyö Oy. Details verified by author during visit.

Architect: Alvar Aalto⁸⁷

⁸⁷ Leo Leroy Beranek, 寺崎恒正, 長友宗重, 音楽と音響と建築, 東京: 鹿島研究所出版会, 1972.1, p.217/p.220

付表-A2.1a コンサートホール：寸法と音響特性ならびに完成年（続き）																	
Name	V	S_A	S_O	S_T	V/S_T	N_A	V/N_A	S_A/N_A	$T_{100-1000}$ (Occup.)	t_1	Average	Year	SEAT SPACING				Slope
	Volume ft ³ (m ³)	Audience Area ft ² (m ²)	Orchestra Area ft ² (m ²)	Total Area ft ² (m ²)	ft (m)	Seats	ft ³ (m ³)	ft ² (m ²)	Reverberation Time sec	Initial-Time- Delay Gap msec	Bass Ratio	Dedicated	Main Floor Row-to-Row in. (cm)	Seal-to-Seal in. (cm)	Balcony Row-to-Row in. (cm)	Seal-to-Seal in. (cm)	Height in. (cm)
FINLAND Helsinki, Kulttuuritalo	354,000 (10,000)	10,180 (945)	1790 (166)	11,970 (1110)	29.6 (8.97)	1500	236 (6.7)	6.8 (0.63)	1.05	26; 17	1.17	1957	36 (91)	21 (53)	—	—	34.5 (88)

図28. 寸法と音響特性ならびに完成年⁸⁸（トリミング済み）

付表-A2. IIa 満席のコンサートホールの残響時間実測値（すべて秒単位）											
Name	Acoustical Measurements by	Average at 500-1000 cps	Frequency in cps								V/S _T ft
			67	125	250	500	1000	2000	4000	6000	
FINLAND											
Helsinki, Kulttuuritalo	Arni, 1960	1.05	1.0	1.2	1.25	1.1	1.0	0.9	0.9	0.7	29.6

図29. 満席のコンサートホールの残響時間実測値⁸⁹（トリミング済み）

また、Jukka Pätynen・Sakari Tervo・Tapio Lokkiによると、「座席数：1390 席、表面積：3200 m²、容積：7800 m³、T₃₀=1.6s、シート張り：薄い、シート間：隣接」⁹⁰と記載されている。

以上のように、文化の家は残響時間の計測データが残されている。基本的なデータを抜き出し、Paavo Arni と Jukka Pätynen・Sakari Tervo・Tapio Lokki の計測データを表 5 にまとめた。また、仕上げ材料はベラネクの著書を参考にする。

表 5 文化の家の技術情報

測定者（年）	容積V	全表面積ST	座席数	測定条件	残響時間（周波数毎）					
					125	250	500	1K	2K	4K
Paavo Arni (1960)	10000	3200	1500	満席	1.2	1.25	1.1	1	0.9	0.9
Tapio Lokki他 (2012)	7800		1390	空席	—	1.6	1.6	1.6	—	—

(2) 音源

舞台上のオーケストラ及び話者と思われる。

(3) 音響的工夫

文化の家の音響的工夫は(1)から「ラメラ構造」、「天井」、「舞台後壁の拡散体」である。図面から読み取れる情報は少なく、音線で検討した図面は1枚であった。

⁸⁸ Leo Leroy Beranek, 寺崎恒正, 長友宗重, 音楽と音響と建築, 東京：鹿島研究所出版会, 1972.1, pp.500-501

⁸⁹ Leo Leroy Beranek, 寺崎恒正, 長友宗重, 音楽と音響と建築, 東京：鹿島研究所出版会, 1972.1, p.504

⁹⁰ Jukka Pätynen, Sakari Tervo, and Tapio Lokki, Analysis of concert hall acoustics via visualizations of time-frequency and spatiotemporal responses, 2013 Acoustical Society of America 133(2), February 2013, pp.842-857

2.2.2 ヴォクセンニスカの教会 (1952-59)



写真4 ヴォクセンニスカの教会 外観（左）/内観（右）
（アルヴァ・アアルト財団、左：Pertti Ingervo 撮影、右：Pinja Eerola 撮影）

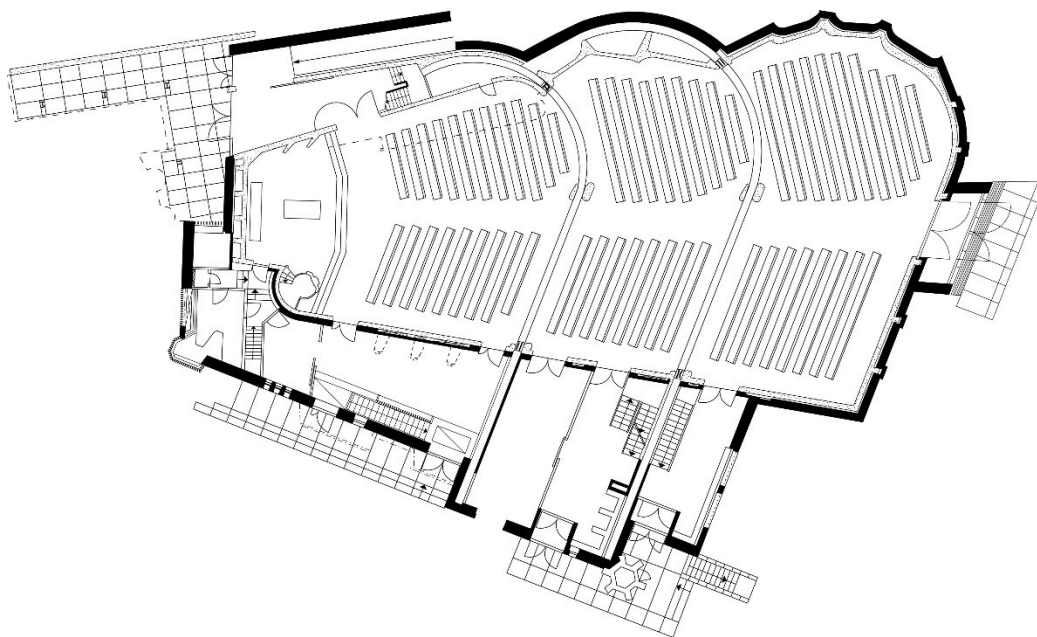


図30. ヴォクセンニスカの教会 1階平面図

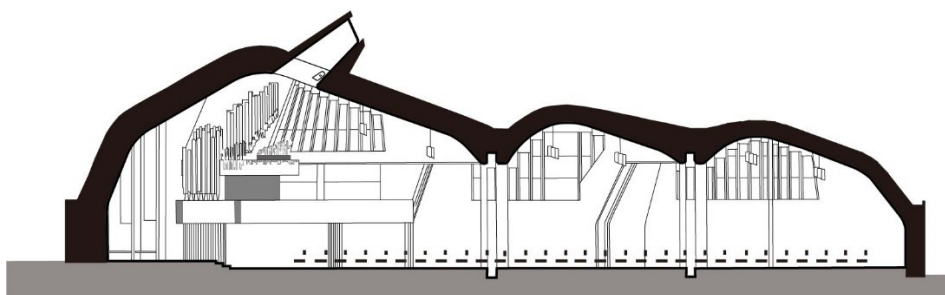


図31. ヴォクセンニスカの教会 断面図

(1) 概要

ヴォクセンニスカの教会はフィンランドのイマトラ島に所在し、写真4に示すような外観および内観を持つルーテル派教会である。図30および31から分かるように、教会は可動遮音壁により3つの空間に分けることができる。この空間を祭壇側からA、B、Cとするならば、Aは聖域であり、BとCは平日に教区の活動を行うことができる場所と性格付けられた。各空間の座席数はAが約230席、Bが約255席、Cが約315席、全体で約800席である。ルーテル派教会での神聖な奉仕には、祭壇、説教壇、音楽と聖歌隊のためのオルガンロフトの3つの建築の焦点が必要であり、それらすべてがAの空間に収容されている。教会の最も神聖な場所として、祭壇は中央に配置され、説教壇は通常片側に追いやられる。説教の可聴性がルーテル派教会で最も重要で最も難しい問題であることを考えると、非対称の教会の内部は論理的な結果と考えられている⁹¹。室内仕上りは壁や天井が漆喰、窓はガラス、Aの床で祭壇が大理石、会衆席部分がセラミックタイル、BとCの床はフローリングである。椅子は木製である⁹²。ヴォクセンニスカの教会は図面での検討が多く実施されている一方で残響時間や容積などの計測データが見当たらなかった。

(2) 音源

図面から音源は説教台に立つ牧師の音声と思われ、床面から2m55cmの高さにあると想定されている。

⁹¹ 『Church of the Three Crosses (Vuoksenniska church) - Alvar Aalto Foundation』 Church of the Three Crosses (Vuoksenniska church) - Alvar Aalto Foundation | Alvar Aalto -säätio (2022/12/31 アクセス)

⁹² Eduardo Zarate, The Religious Architecture of Alvar Aalto, McGill University, July 1988, p.189

(3) 音響的工夫

本稿では、ヴォクセンニスカの教会の設計における「幾何音響的手法」と実際の「残響時間」を分析する。

コンピュータの使用が一般的ではなかった当時としては、波動音響的な検討は難しいと思われ、音線と波面の作図による幾何音響的手法が用いられている。

① 音線の作図による検討

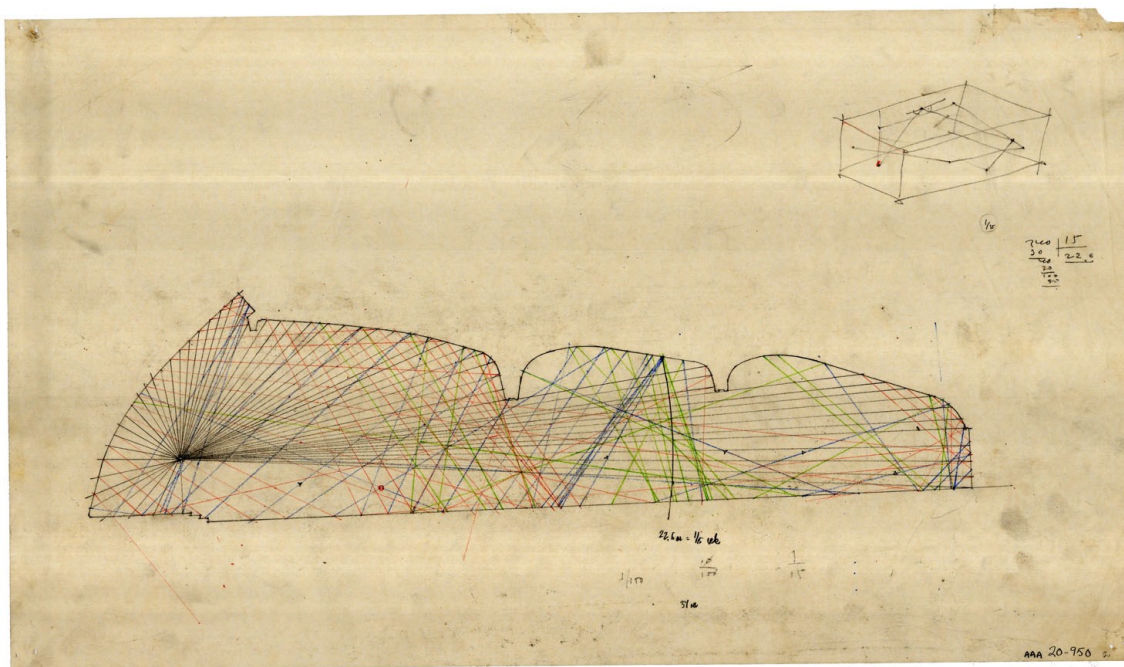


図32. 20/950 断面図 (1472×876mm) (アルヴァ・アアルト財団所蔵)

図 32 においては、音源から発出された音線を描くことによって室内での音のエネルギーの伝搬状況を予測している。音源は説教台に立つ牧師の音声と思われ、床面から 2m55cm の高さにあると想定されている。この図面では 3 次反射までを描いており、直接成分を黒、1 次反射成分を赤、2 次反射成分を青、3 次反射成分を緑で色分けしている。内部の複雑な曲面における高次反射の音線描画は極めて複雑になることと、影響が少ないことを考慮して、4 次反射以降は省略したと思われる。また、説教台の陰になると想定した客席前方部分には直接音の音線を描いていない。

また、この図面のメモには「 $22.6\text{m}=1/15\text{sek}$ 」という書き込みがあり、音源から 22.6m の位置に直接音の波面が描かれている。このメモから、この図面では音速を約 340m/s ($22.6 \times 15 = 339$) として検討していることがわかった。また、紙面右上のスケッチからは 3 次元的な視点で音線検討しようとした様子がうかがえる。

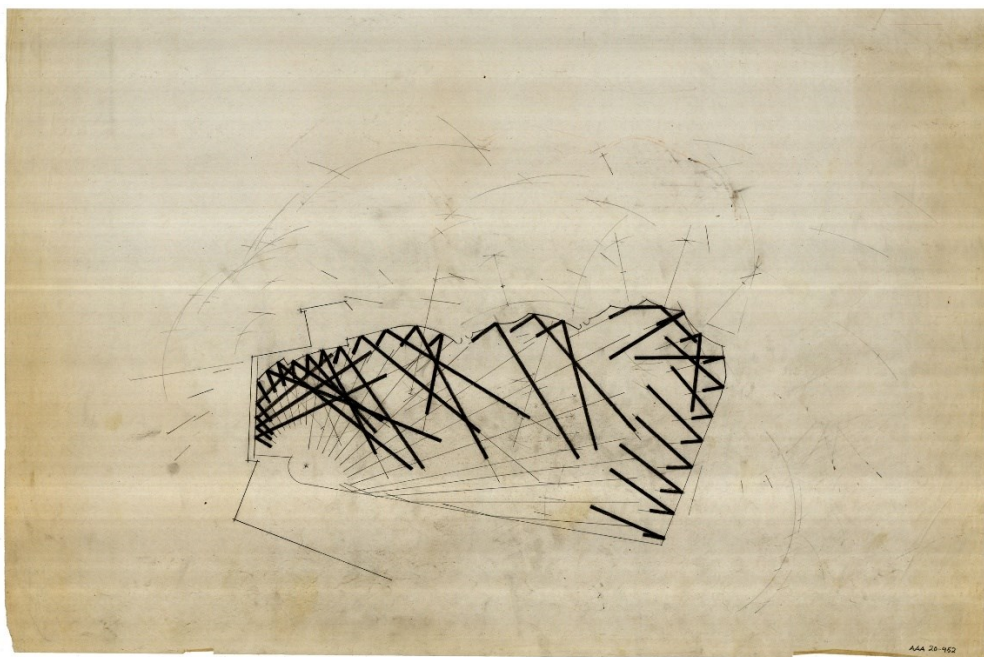


図33. 20/952 平面図 (2433×1613mm) (アルヴァ・アアルト財団所蔵)

図33においては、主に1次反射音を検討している。外壁によって形成される3つの円弧は内側に凸の形状になっており、ある程度の音の焦点の形成を避けた結果と思われる。これは実施設計案に近い形である。一方、祭壇に近いところで依然として音のエネルギーの集中する場所が存在している。

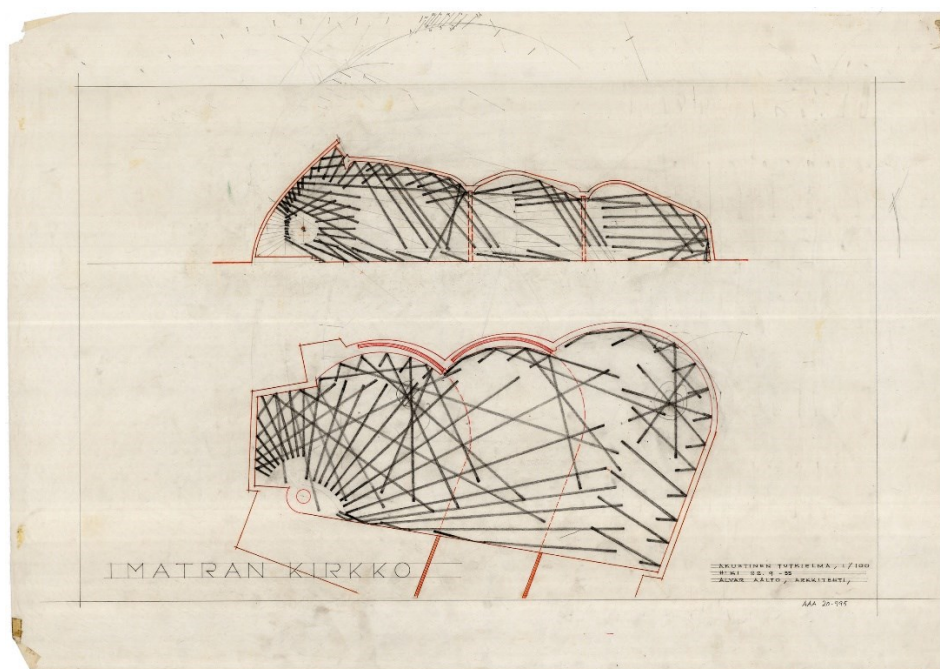


図34. 20/995 平面図・断面図 (2427×1725mm) (アルヴァ・アアルト財団所蔵)

図 34 においては、外壁によって形成される 3 つの円弧のうち、2 か所音の焦点が発生する可能性を示す箇所に○印が描かれている。(図 34' に赤丸で示す。)

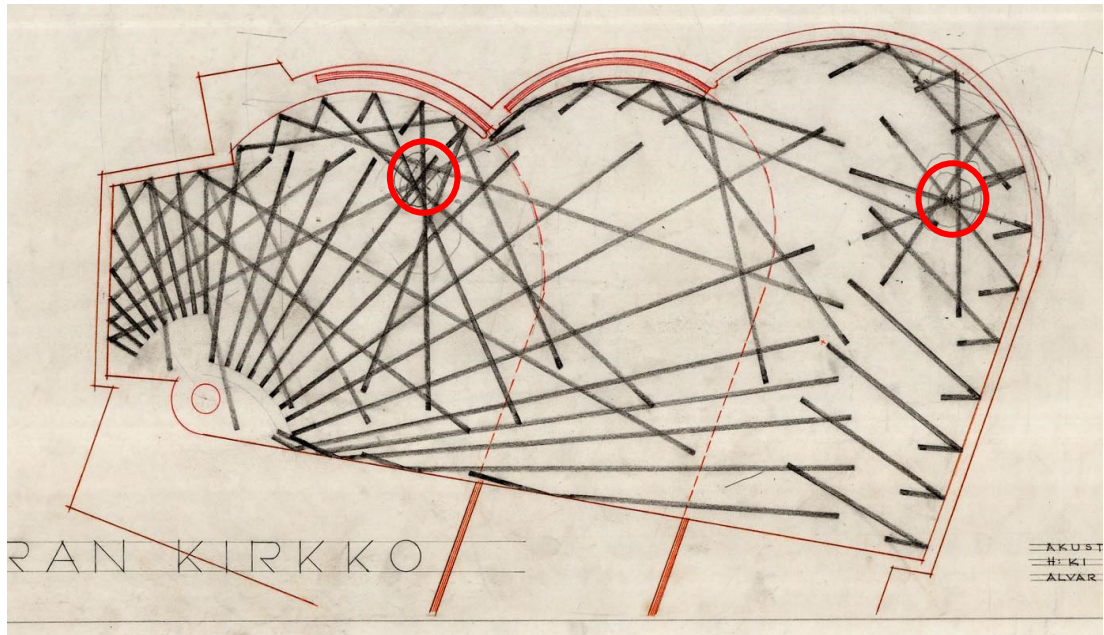


図 34' 20/995 の音の焦点 (トリミング済)

また、同一紙面に平面図、断面図での検討をしていることから 3 次元的な観点で音のエネルギーの集中する箇所を推定し、壁面形状の設計を考慮していると思われる。図面の内容から 20/952 が後の検討であると思われるが、スタンプ番号では描かれた順番はこちらが後となっている。

いずれの図においても音源は、高さ 2m55cm の説教台に立つ牧師の音声のみと思われ、それ以外の音源位置が想定される祭壇とオルガンロフトからの音響検討の痕跡は見られなかった。この点はアアルトが設計した、これ以前の教会建築における音響検討²⁾と異なっている。

② 光源と模型を使った実験による検討

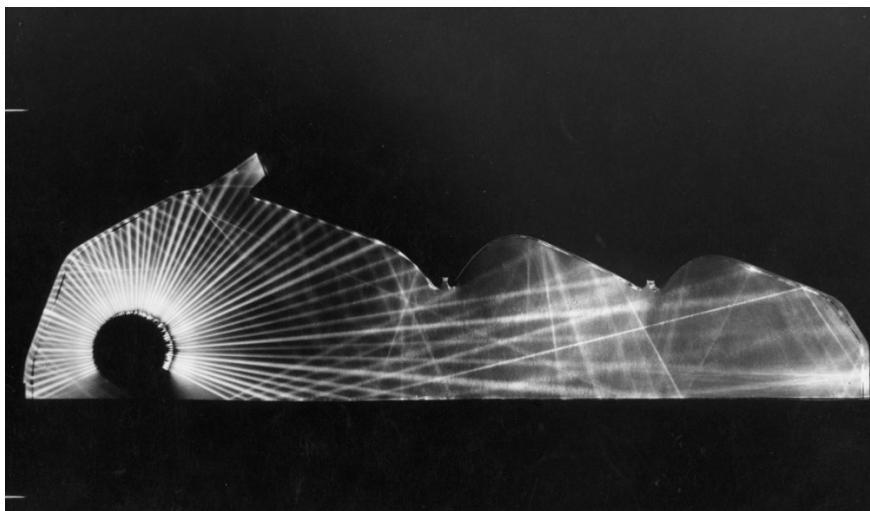


写真5 模型実験の写真（断面）（アルヴァ・アアルト財団所蔵）

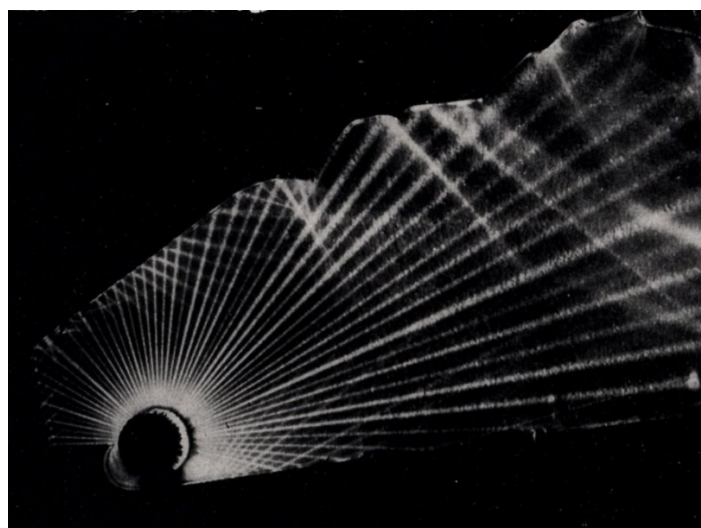


写真6 模型実験の写真⁹³（平面）

写真5および6は、模型にスリット付きの覆いをかぶせた光源を音源位置に設置し、光線で音線を表現する模型実験の様子を示している。この模型は実施設計案に近い形態と考えられる。少なくとも天井付近を除いてシャドウゾーンが見られず、室内に音のエネルギーが行き渡っている様子が直感的に示されている。

模型内面における光の反射率をどのような基準で設定したのか興味深いが、残された資料からは判明しなかった。

⁹³ Eglise a Imatra; “L’ Architecture d’ aujourd’ hui” No.93, Boulogne, France : Jean-Michel Place., [1930]-, December 1960, p.13

③ 波面の作図による検討

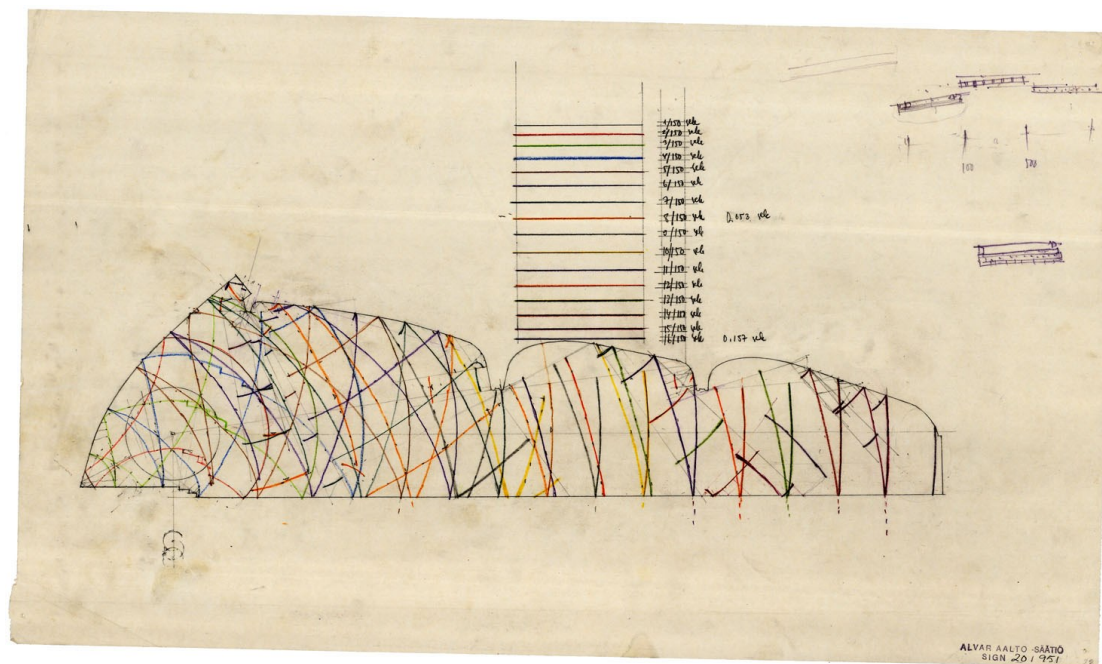


図35. 20/951 断面図 (1477×880mm) (アルヴァ・アアルト財団所蔵)

図 35 では、断面における特定の時間ごとの波面が作画されている。音線の図を元に、音線上に音源から一定の距離の点を取り、これらを結んで波面を描いていると推測されるが、祭壇前方の床からの反射音は図面に残されたコンパスの跡から鏡像法にて作図したと推測する。図 36 は筆者が床からの鏡像法を用いて反射音を描いた波面と直接音による波面を描いた図である。図 35 では、1/150s 毎に 16/150s までの波面を色分けして作図されており、図 37 はこれら波面を筆者が時間毎に分解して描き直したものである。波面の作図は 16/150s = 107ms、つまり音源から 36.3m の位置で検討が終わっており、直接音が客席後方の壁に到達するまでの状況を検討したと思われる。なぜ 1/150s の時間間隔をもって描いたのかについては、資料から読み取ることはできなかった。

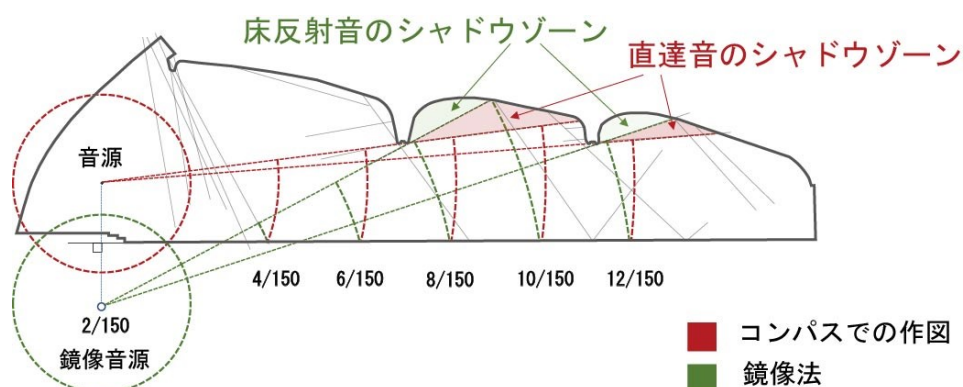


図36. 直接音および床からの1次反射音の波面作図

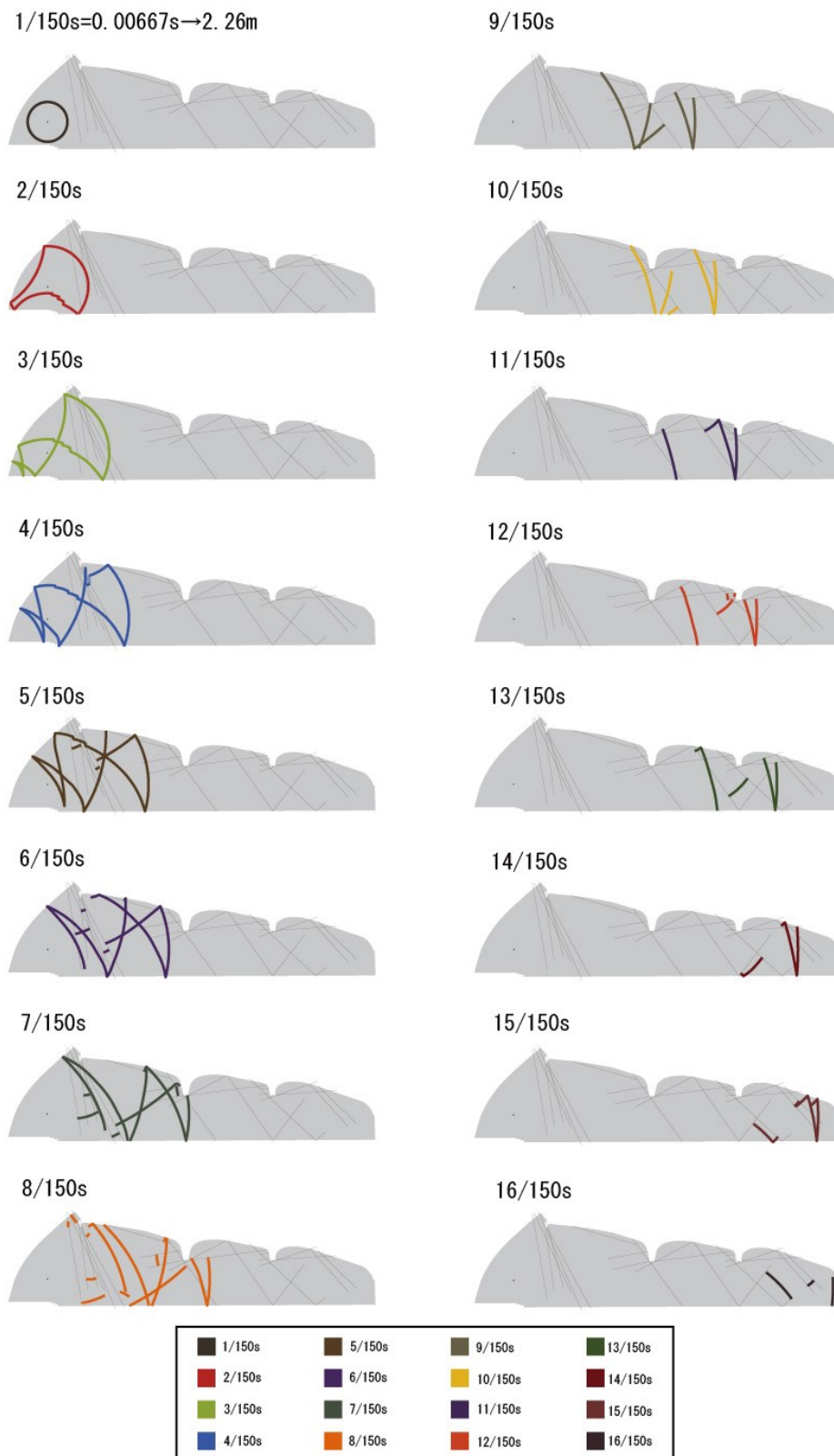


図37. 20/951 の波面を 1/150 s 毎に分けて描いた図

この図面から時間ごとの直接音と1～3次の反射音の波面の位置関係が分かるためエコー障害の有無を確認できるが、室内のいずれの場所においても障害は見られない。また、波面の重なり合う密度は空間A→B→Cの順に低くなることが分かる。11/150s以降の図には祭壇背面からの反射音の波面が描かれておらず、吸音によって影響が無視できると考え、作図を省略したと考えられる。一方、平面図における波面の検討が行われた痕跡は残されていなかった。

当時、建築音響学の知識として残響理論はある程度知られていたと思われるが、残響時間の予測が行われた痕跡は見られなかった。一方、初期反射音の影響は強く意識されており、図38に示すように特に音の焦点などエネルギーの集中を避ける試みが実施設計における壁面などの形状の変化からうかがえる。

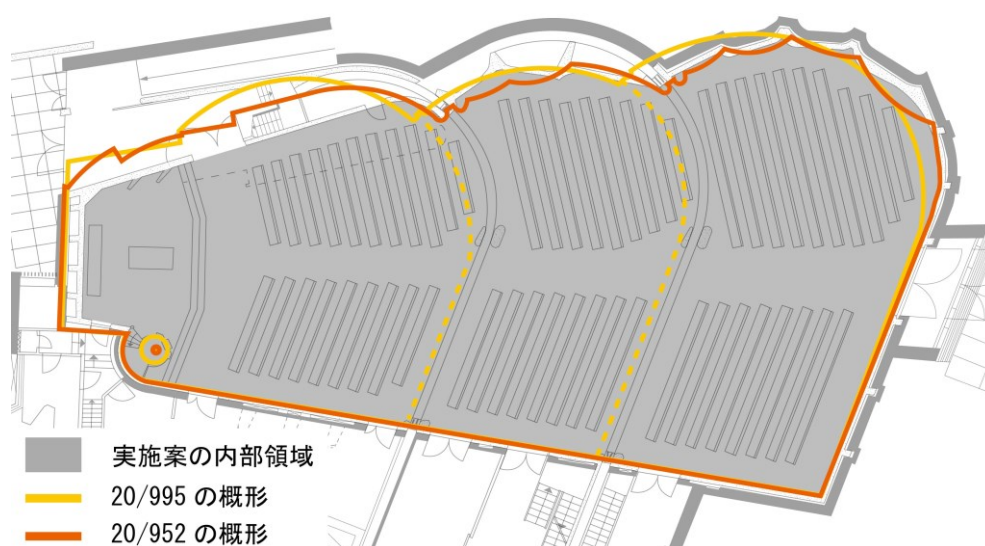


図38. 内部空間の概形の変化

幾何音響的手法に関する主たる結論を以下の3点にまとめる。

- ・音線図では、音のエネルギーの分布および集中について検討していると思われ、結果として壁面の形状を外向きに凸の円弧から平面ないし内向きの凸の円弧への修正を行なっている。(図38)
- ・波面検討では、16/150s=107msまで伝搬状況を検討しており、直接音によって室内の音のエネルギーが満たされるまでを検討対象としており、初期反射音の空間全体への適度な供給とエコー障害発生の有無を検討していると思われる。
- ・コンピュータが普及していなかった時代においても、作図による幾何音響的な検討を行い、壁面の形状などを検討し、適切に実施設計に繋がっていると評価できる。

2.3 1960 年代

2.3.1 フィンランディアホール (1962/1967-75)



写真7 フィンランディアホール 外観（左）/内観（右）⁹⁴
（アルヴァ・アアルト財団、左：Maija Holma 撮影）

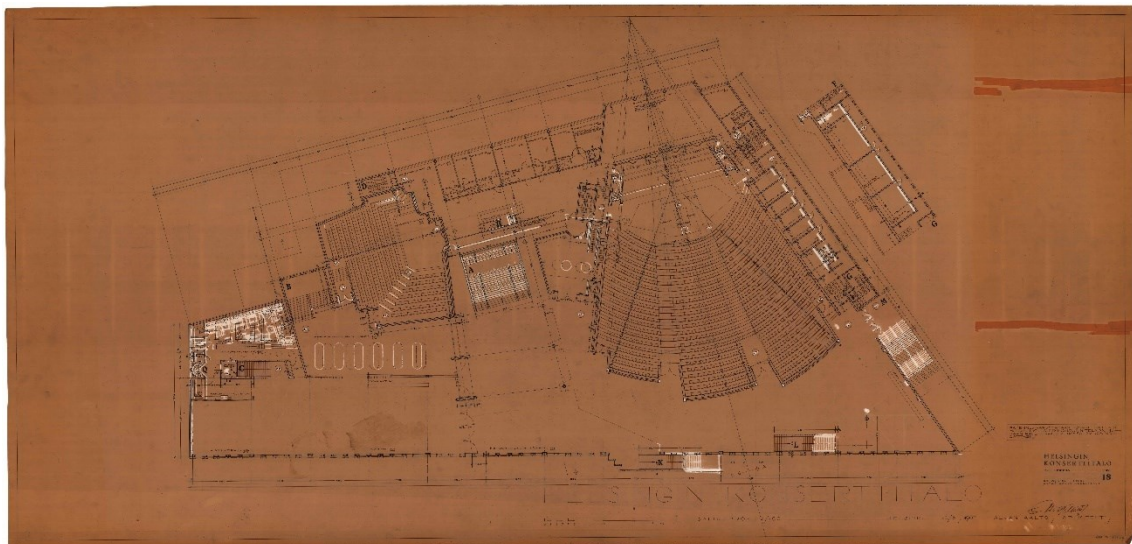


図39. 46/4877 2階平面図 (1/100 11483×5535mm) (アルヴァ・アアルト財団所蔵)

⁹⁴ 『フィンランディアホール - Visit Alvar Aalto』 <https://visit.alvaraalto.fi/jp> (2023/1/4 アクセス)

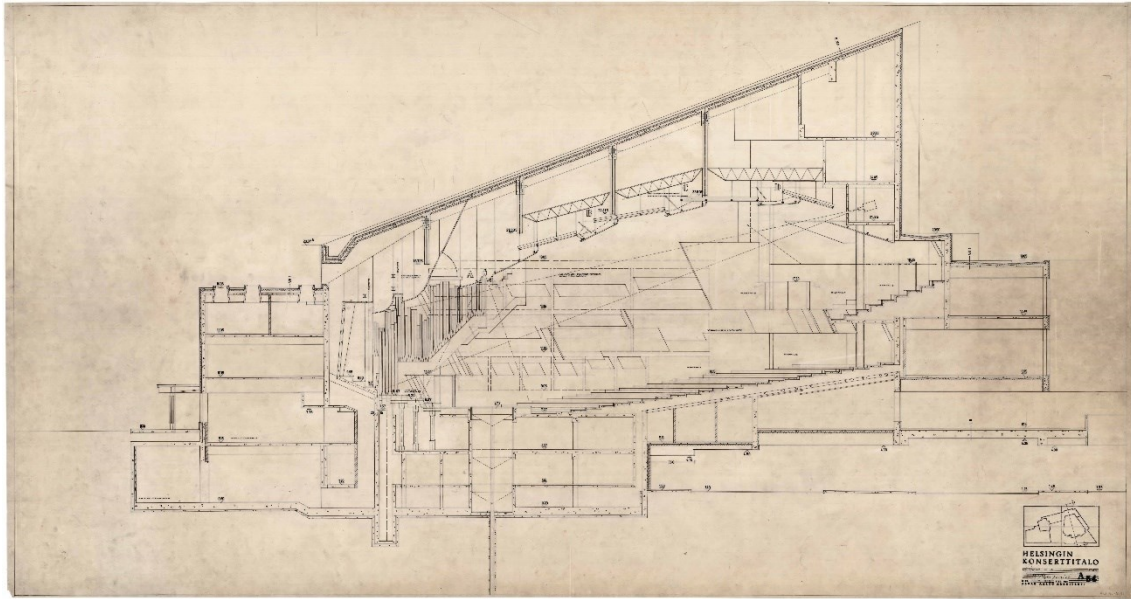


図40. 46/4877 A-A 断面図 (1/50 10135×5367mm) (アルヴァ・アアルト財団所蔵)

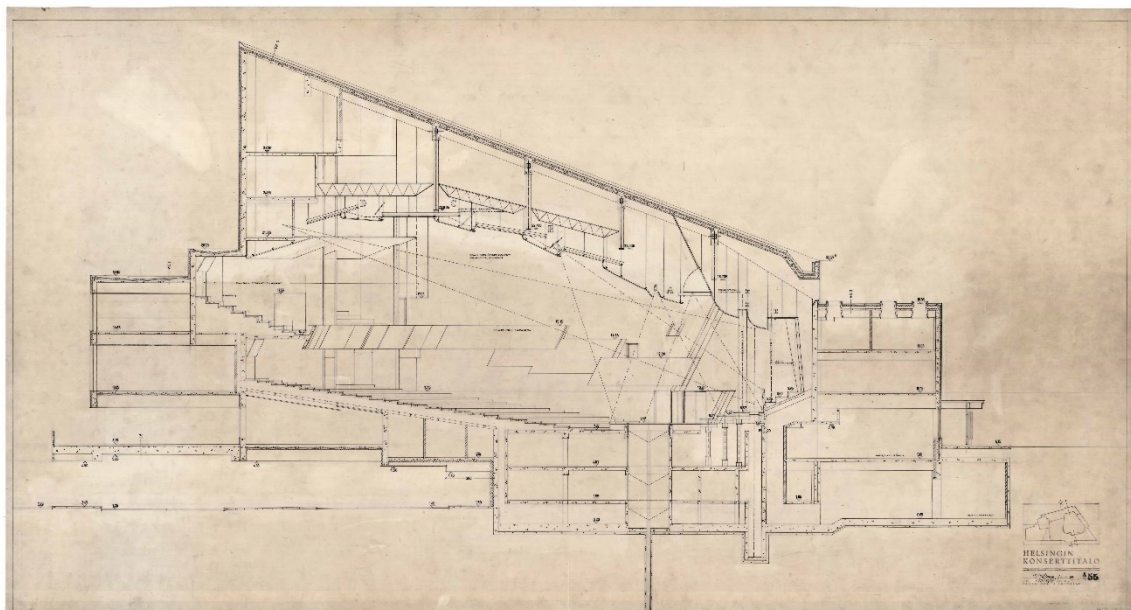


図41. 46/4877 A-A 断面図 (1/50 10135×5367mm) (アルヴァ・アアルト財団所蔵)

(1) 概要

フィンランディアホール (Finlandia-talo) は 1971 年、ヘルシンキの中心部に建てられ、1975 年には増築部分も完成した。この建物は会議場、コンサートホールとして設計された。1962 年、ヘルシンキ市は市中心部の都市計画の初期段階としてアルヴァ・アアルトにコンサートホールと会議場の設計を依頼した。

建物の主な特徴はすでに初期の設計に表れているが、最も顕著な変更は室内楽ホールである。初期の設計では大きなコンサートホールのようになっており、他の部分に比べ高さがあり差別化されていた。非対称の扇型平面のコンサートホールのアイデアと音響については設計の段階で十分に検討がされ、壁の装飾やその他の細部に至っては小型模型を作った。コンサートホールは 1750 席あり、350 席ある小さい室内楽ホールは音響を考慮した天井構造になっている¹⁰⁰。

Schildt によると、「1930 年代にさかのぼると、アアルトはさまざまな音響効果、つまりオーケストラ音楽、室内楽、合唱音楽、スピーチなど、さまざまな目的に合わせて音響効果を変更できるオーディトリウムを設計する可能性を考えていました。フィンランディアホールの基本的なアイデアには、教会と同じくらいの高さの講堂がありましたが、完全な大聖堂の効果から親密な講義室の効果まで、残響を変える可動スクリーンがありました。オーディトリウム自体は建築的に満足できる恒久的な形式を持たなければならなかったため、アアルトはスペースを 2 つのセクションに分割することにしました。彼は客席エリア、つまりコンサートホールに適切な空間を与えました。これは、光学的に閉じた天井面を形成するルーバー付きの仮天井ですが、音響的には上のスクリーン構造への音波の通過を可能にします。この『上部講堂(upper auditorium)』は、街並みの中でフィンランディアホールを非常に際立たせる塔のような形と傾斜した屋根の口実を提供しました。残念ながら、アアルトのアイデアは実際にはうまくいきませんでした。音波はルーバーを通して消え、二度と戻ってこない。コンサートホールを救うためには、天井を完全に密閉する必要があります。現在、建物は、実用的な目的のない広大で空の屋根裏部屋を隠している高い天井を持つゴシック様式の教会の 1 つに似ています。⁹⁵」と記されている。また、Schildt は他の文献⁹⁶では、『上部講堂(upper auditorium)』のことを『共鳴空間(resonance area)』と記しており、本稿では『共鳴空間』と記述する。

⁹⁵ Göran Schildt (Alvar Aalto The Decisive Years, RIZZOLINTERNATIONAL PUBLICATIONS, INC., 1986, pp.199-200) : 訳は筆者による

⁹⁶ Göran Schildt, Ph D, ALVAR AALTO&FINLANDIA HALL フィンランディアホール公式パンフレット
<https://www.finlandiatalo.fi/en/architecture-and-history/alvar-aalto/> (2023/01/26 アクセス)

また、Jukka Pätynen・Sakari Tervo・Tapio Lokki によると、空席時で「座席数：1700 席、表面積：4500 m²、容積：15000 m³、T₃₀=2.0s、シート張り：重い、シート間：隣接」⁹⁷と記載されている。

そして、Barron⁹⁸によると、アアルト自身が音響コンサルタントを務めた建物である。

⁹⁷ Jukka Pätynen, Sakari Tervo, and Tapio Lokki, Analysis of concert hall acoustics via visualizations of time-frequency and spatiotemporal responses, 2013 Acoustical Society of America 133(2), February 2013, pp.842-857

⁹⁸ Mike Barron, Then and now – how concert hall design of the 1960s and '70s compares with the present, NAG/DAGA 2009 International Conference on Acoustics, Rotterdam, Netherlands, 23/03/09-26/03/09, pp. 4-9.

(2) 音源

音源は主に舞台上の3か所考えられており、舞台・オーケストラステージ・合唱団である（図42・図43）。設計が実施設計になるにつれて合唱団の検討は少なくなり、オーケストラステージの最前列と最後列に音源を設定している。

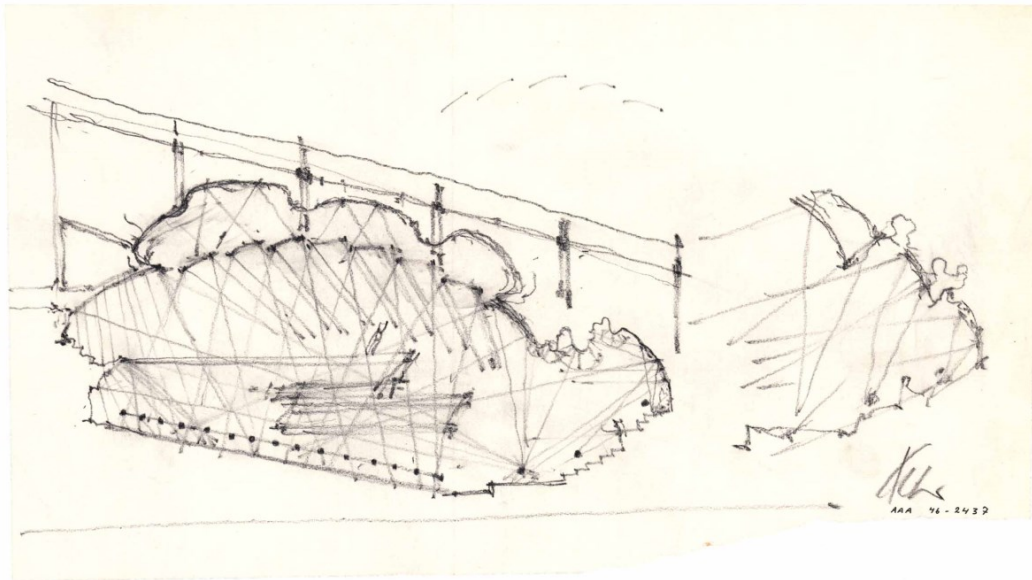


図42. 46/2437 断面図 (2300×1290mm) (アルヴァ・アアルト財団所蔵)

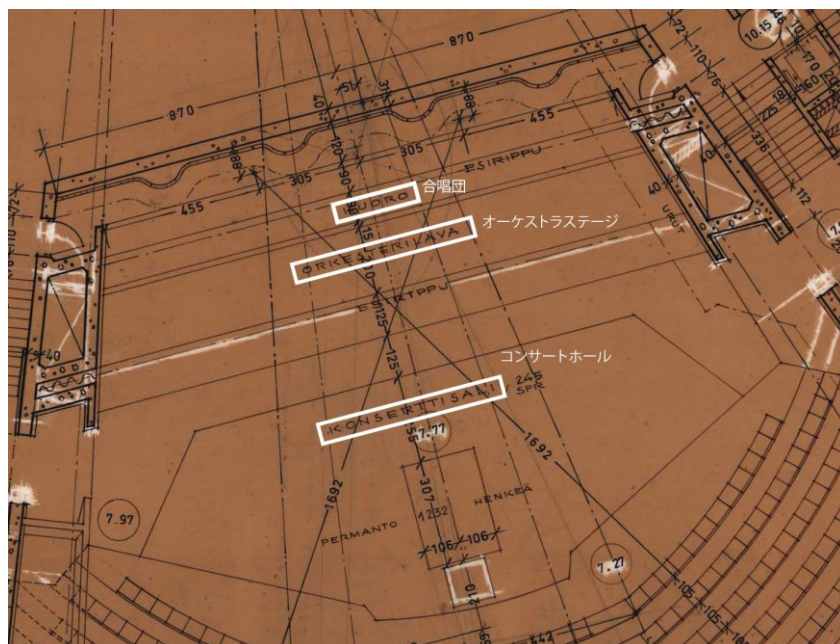


図43. 46/4877 2階平面図 舞台回り (1/100 11483×5535mm)
(トリミング済み・筆者描き込み済み) (アルヴァ・アアルト財団所蔵)

(3) 音響的工夫

フィンランディアホールの音響的工夫は、「共鳴空間と天井反射板とラメラ構造」と「側壁のラメラ構造」と「舞台後ろの拡散体」である。

フィンランディアホールでは、スケッチから観察すると主に幾何音響的手法で検討しており、波面図は46/4720と46/4721の2枚である。主に音線での検討が行われている。これらの検討は断面図で天井面の反射を考えているものと思われ、平面図での音響検討は見られない。よって、音響的工夫の成立を描画順に16枚のスケッチ時系列に並べ、設計案別に分析する。設計案は46/2431-46/2438までを第1期、46/4720-46/4721を第2期、46/4942-46/5326を第3期とする。これは設計過程すべてにおける分類ではなく、音響的考察が見られる図面における分類とする。第2期は第1期と類似する点が多いが、波面での検討を行うなど、設計案の明確化が第1期に比べ進んでいることから独立させた。

① 第1期

まず、第1期から分析する。第1期はメモやスケッチからボリューム検討や高さ検討なども行われている段階であると推察する。すでに、音響的特徴のアイデアは描き込まれている。音響検討は主に反射板で反射する1次反射音を音線で行っている。各図面の音源の数、音源の位置、反射板の位置、反射板の形、天井の形、その他の特徴について図44にまとめた。

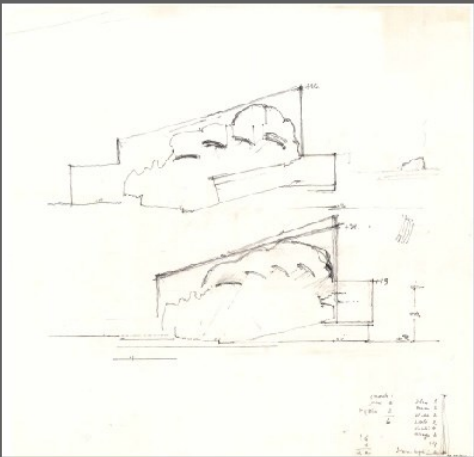

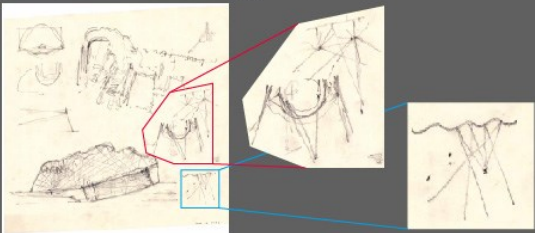

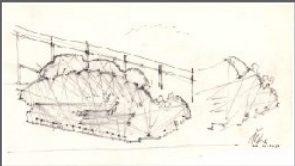
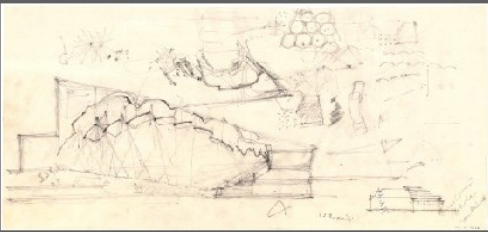
46/2431		音源の数	1
断面図 3710×3565mm		音源の位置	舞台
		反射板の数	4
		反射板の形	上に凸の曲面
		天井の形	鍾乳洞のように舞台上部に3つの突起があり、反射板上に高さ約7mの波打つ曲面天井をもつ空間がある。
		その他	右下のメモは高さの計算と思われることからボリュームの検討をしていると考察する。音線は反射板での1次反射の閾値をとって描いている。
46/2432		音源の数	不明
断面図/平面図 2060×2200mm		音源の位置	舞台
		反射板の数	5
		反射板の形	上に凸の曲面
		天井の形	舞台上部に3つの突起があり、ホール全体の上に波打つ曲面天井をもつ空間がある。
		その他	反射板1枚につき、音線を1本描いている。
46/2434		音源の数	不明
断面図/平面図 1785×1820mm		音源の位置	舞台
		反射板の数	不明
		反射板の形	不明
		天井の形	舞台上部に突起があり、ホール上部は曲面天井
		その他	青枠はおそらく舞台後方の拡散体の平面、赤枠は拡散の様子音線図と推察。
46/2435		音源の数	1
断面図 4270×1795mm		音源の位置	オーケストラステージと推定
		反射板の数	7
		反射板の形	上に凸の曲面
		天井の形	舞台上部に3つの突起、反射板上部に曲面天井をもつ3つの空間がある。
		その他	反射板1枚につき、音線を1本描いている。
46/2437		音源の数	3
断面図 2300×1290mm		音源の位置	舞台・オーケストラステージ・合唱団
		反射板の数	7
		反射板の形	上に凸の曲面
		天井の形	舞台上部に突起、反射板上部に曲面天井の空間。
		その他	※1
46/2438		音源の数	2と推定
断面図/平面図 3841×1785mm		音源の位置	舞台・オーケストラステージ
		反射板の数	7
		反射板の形	上に凸の曲面
		天井の形	舞台上部に突起、反射板上部に曲面天井の空間。
		その他	上部の空間から反射板の隙間から降り注ぐ音(光の可能性も)の領域を示している。

図44. フィンランディアホールの図面分析（第1期）

反射板で反射した音が客席に落ちる領域について検討している 46/2437 について詳しく分析する (図 42 ※1)。

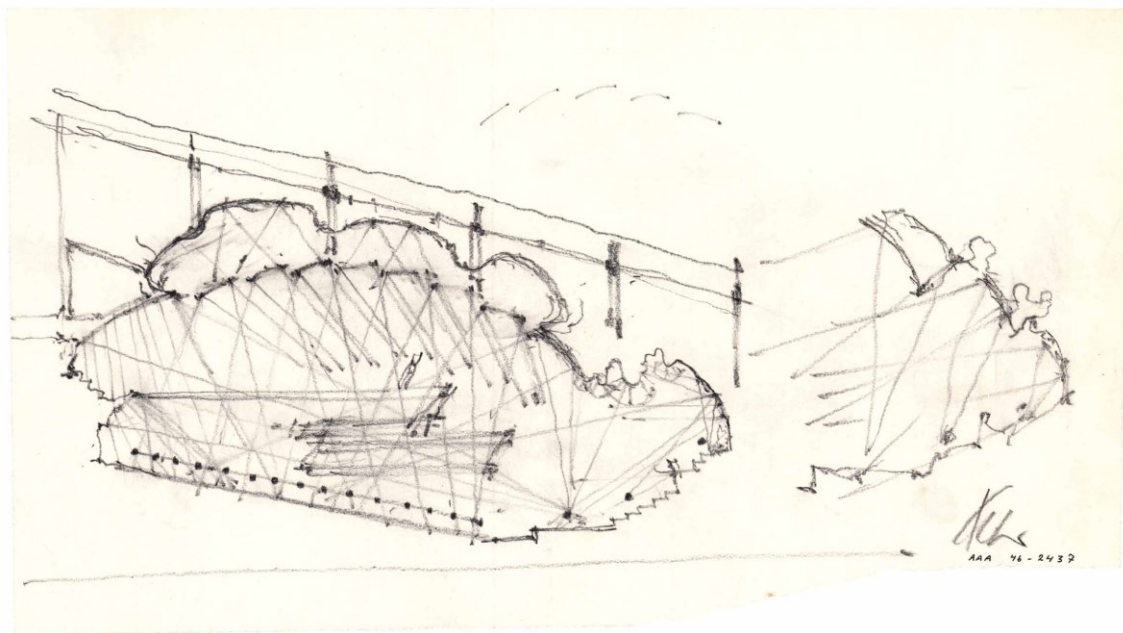


図 42 46/2437 断面図 (2300×1290mm) (アルヴァ・アアルト財団所蔵) (再掲)

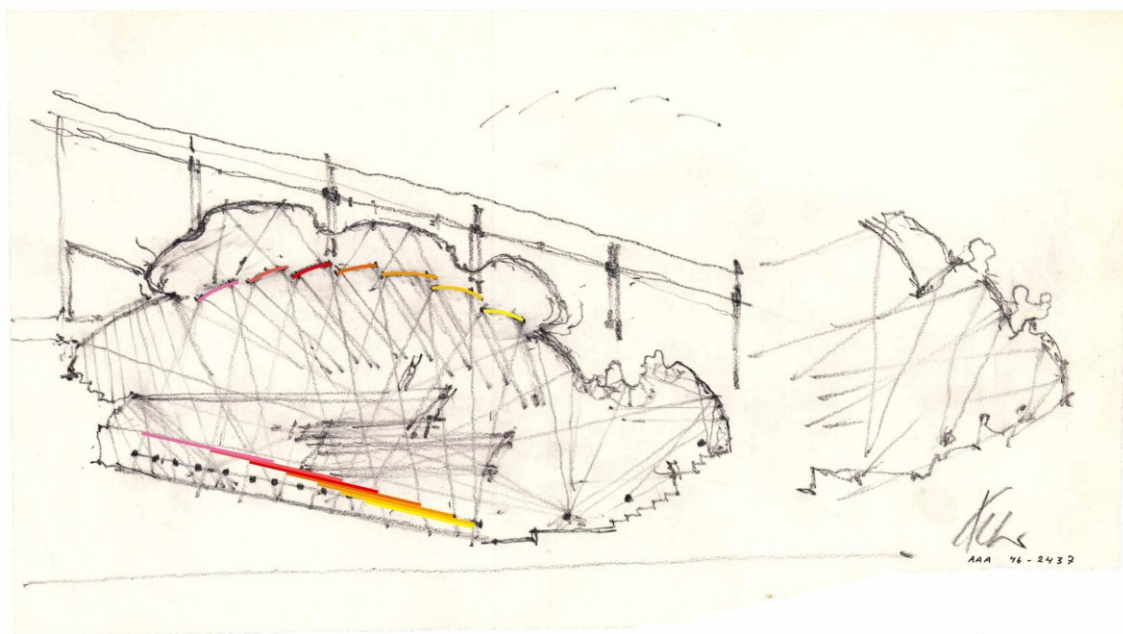


図 42 ‘ 46/2437 断面図 (2300×1290mm) (アルヴァ・アアルト財団所蔵)

図 42 について、図面の右側のスケッチは舞台の上部の音線検討をしている。反射している面の閾値の音線を音源 3 か所からそれぞれとばしている。反射する箇所 1 か所につき音線を 1 本飛ばしている。左側の断面図では、客席部の上に 15 の点が打っており、1 階客席部が 14 等分されているように見える。反射板 1 枚につき閾値の 2 本の音線を飛ばしており、共鳴空間での音線も描いている。図 42' において、各反射板に彩色し 1 次反射音が客席に届く範囲を示した。客席前方は複数の反射板からの反射音が届くが後方部になるにつれて少ない反射音しか届かないことがわかる。また、図面上部の 5 本の線のスケッチは反射板のように見受けられる。

第 1 期において、鮮明に反射板による客席部への音の反射領域を検討していたのは 46/2437 であった。この図面から、鍾乳洞のように舞台上部を覆う天井の形態はオーケストラステージと合唱団などの舞台後方を音源とする音の反射を担う個所であると考察する。第 1 期前半から徐々に反射板の数が増え、共鳴空間に届く音は少なくなっていると思われる。反射板の形は上に凸の曲面で統一されている。

以上のように、第 1 期は共鳴空間のボリューム検討と反射板の数を調整することで、反射によって音が届く領域を検討する段階であったと考察する。

② 第2期

次に第2期について、分析する。図44同様、2枚の特徴を図45にまとめた

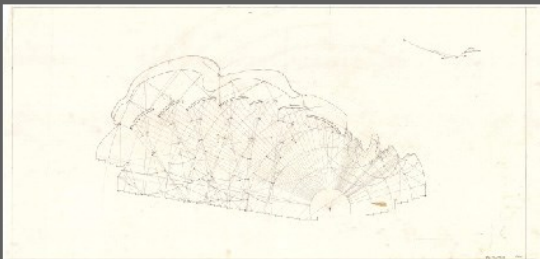
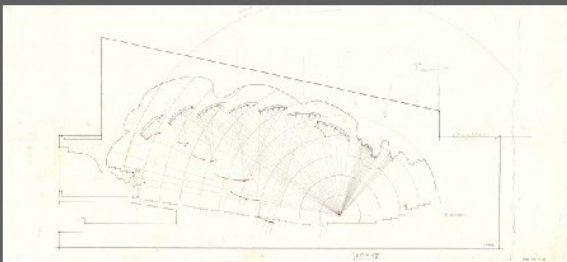
46/4720		<table><tr><td>音源の数</td><td>1</td></tr><tr><td>音源の位置</td><td>舞台</td></tr><tr><td>反射板の数</td><td>7</td></tr><tr><td>反射板の形</td><td>上に凸の曲面</td></tr><tr><td>天井の形</td><td>鍾乳洞のように舞台上部に突起があり、反射板上に曲面天井をもつ空間がある。</td></tr></table>	音源の数	1	音源の位置	舞台	反射板の数	7	反射板の形	上に凸の曲面	天井の形	鍾乳洞のように舞台上部に突起があり、反射板上に曲面天井をもつ空間がある。
音源の数	1											
音源の位置	舞台											
反射板の数	7											
反射板の形	上に凸の曲面											
天井の形	鍾乳洞のように舞台上部に突起があり、反射板上に曲面天井をもつ空間がある。											
断面図 5245×2500mm												
46/4721		<table><tr><td>音源の数</td><td>1</td></tr><tr><td>音源の位置</td><td>舞台</td></tr><tr><td>反射板の数</td><td>7</td></tr><tr><td>反射板の形</td><td>上に凸の曲面</td></tr><tr><td>天井の形</td><td>同上</td></tr></table>	音源の数	1	音源の位置	舞台	反射板の数	7	反射板の形	上に凸の曲面	天井の形	同上
音源の数	1											
音源の位置	舞台											
反射板の数	7											
反射板の形	上に凸の曲面											
天井の形	同上											
断面図 5500×2505mm												

図45. フィンランディアホールの図面分析（第2期）

第2期については1枚ずつ分析する。図46は46/4720であり、第1期の断面の案にて音線及び波面検討を行っている。これを、それぞれ音線と波面のみの図に分解したのが図47と図48である。なお、図48については1/100 s毎に分解して示している。



図46. 46/4720 断面図（5245×2500mm）（アルヴァ・アアルト財団所蔵）

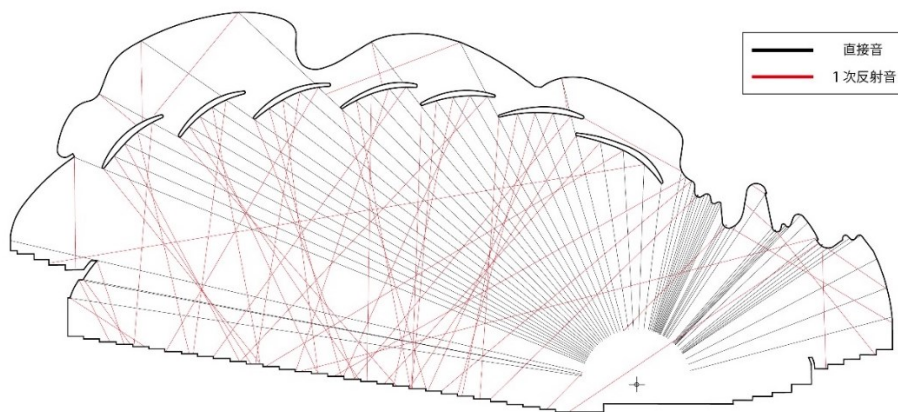


図47. 46/4720 音線図

図面に、舞台前方の位置にある音源から概ね天井反射板1枚あたり5本の音線を等間隔で飛ばし、床面到達までの反射音線を描いている。さらに、音速を340m/sとすれば、これらの音線から10ms毎の直接音と天井反射板から一次反射音の波面位置を描いている。一次反射音の床面到達の位置が概ね客席部を覆っていることを確認していると思われる。図47から、音線の密度は客席前方でやや薄い、舞台からの直接音が十分に届く位置なので、問題ないと思われる。

舞台上部の複雑な形状の天井面で拡散反射された音波の波面は行路17m（50ms後）まで描かれており、直接音の波面との重なり具合から、舞台上でのエコー障害などの状況を推定したのではないと思われる。80ms後の第一反射音の波面を描いたとしてもエコー障害は発生しないと思われる。

客席部において、直接音と一次反射音の波面が交差する位置における、これらの時間差を読み取ることができる。時間差は50～70msに分布し、80msを超える箇所は無く、エコー障害が発生する可能性は低く、天井反射板は有効な初期反射音を客席部に供給していることが確認できる。しかし、反射板が天井のほとんどを覆っているため、反射板の隙間をすり抜ける音線が少なく、おそらく適切な（長い）残響時間をするために天井反射板より上部の空間を大きくとる設計案であったと思われるが、図面からもあまり機能しないことが懸念される。

右上のスケッチの意味は、不明であるが、古代ギリシャ円形劇場におけるオーケストラ部での反射の効果を描いているように思われる。しかし、この図面には関連する音線や波面が描かれていない。

以上のことから46/4720において、天井を断面が凸面の反射板で覆う設計案は反射板の音響的効果を考察していると考えられる。アアルトはある時期まで天井そのものの形状を音の反射の観点から検討してきたが、フィンランディアホールでは気積を大きくとり、さらに遅れ時間の少ない初期反射音を多く供給するため、天井から吊り下げた反射板を設ける設計案を検討している。これは残響時間を確保するためではないかと推察する。

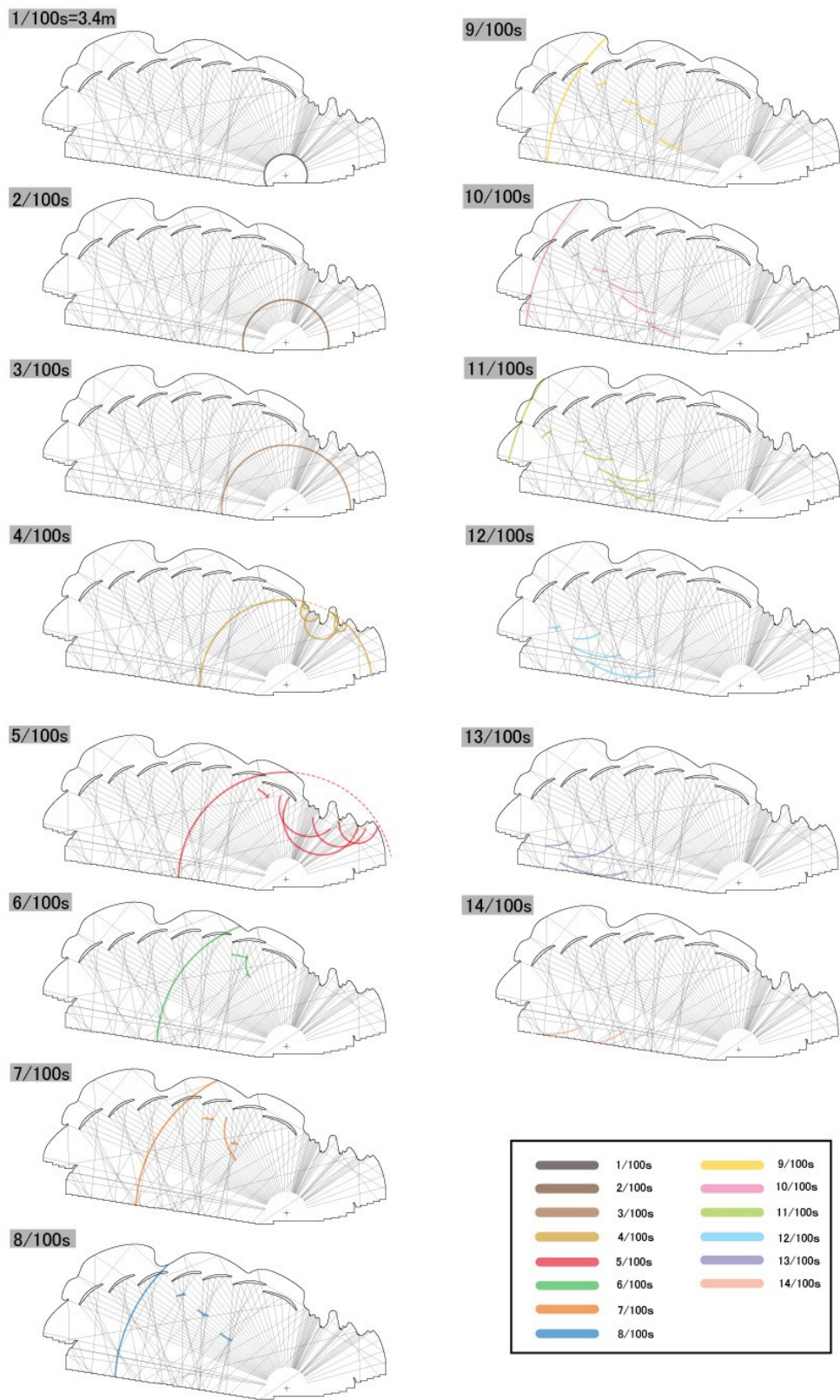


図48. 46/4720 1/100 s 毎の波面図

図面に、舞台前方の位置にある音源から概ね天井反射板 1 枚あたり 5 本の音線を等間隔で飛ばし、床面到達までの反射音線を描いている。さらに、音速を 340m/s とすれば、これらの音線から 10ms 毎の直接音と天井反射板から一次反射音の波面位置を描いている。一次反射音の床面到達の位置が概ね客席部を覆っていることを確認していると思われる。図 47 から、音線の密度は客席前方でやや薄い、舞台からの直接音が十分に届く位置なので、問題ないと思われる。

舞台上部の複雑な形状の天井面で拡散反射された音波の波面は行路 17m (50ms 後) まで描かれており、直接音の波面との重なり具合から、舞台上でのエコー障害などの状況を推定したのではないかとと思われる。80ms 後の第一反射音の波面を描いたとしてもエコー障害は発生しないと思われる。

客席部において、直接音と一次反射音の波面が交差する位置における、これらの時間差を読み取ることができる。時間差は 50~70ms に分布し、80ms を超える箇所は無く、エコー障害が発生する可能性は低く、天井反射板は有効な初期反射音を客席部に供給していることが確認できる。しかし、反射板が天井のほとんどを覆っているため、反射板の隙間をすり抜ける音線が少なく、おそらく適切な（長い）残響時間をするために天井反射板より上部の空間を大きくとる設計案であったと思われるが、図面からもあまり機能しないことが懸念される。

右上のスケッチの意味は、不明であるが、古代ギリシャ円形劇場におけるオルケストラ部での反射の効果を描いているように思われる。しかし、この図面には関連する音線や波面が描かれていない。

以上のことから 46/4720 において、天井を断面が凸面の反射板で覆う設計案は反射板の音響的効果を考察していると考えられる。アアルトはある時期まで天井そのものの形状を音の反射の観点から検討してきたが、フィンランディアホールでは気積を大きくとり、さらに遅れ時間の少ない初期反射音を多く供給するため、天井から吊り下げた反射板を設ける設計案を検討している。これは残響時間を確保するためではないかと推察する。

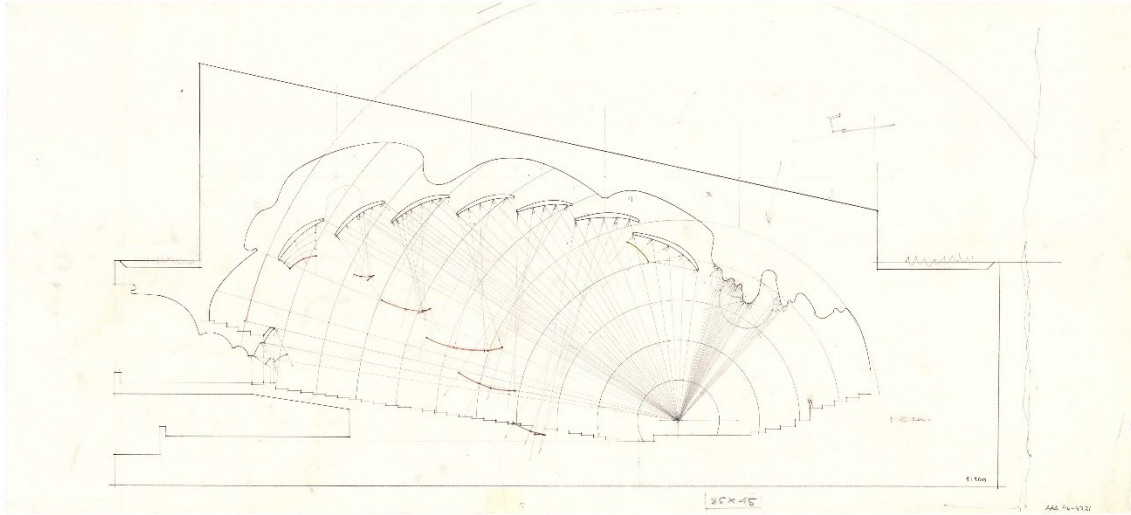


図49. 46/4721 断面図 (5500×2505mm) (アルヴァ・アアルト財団所蔵)

46/4721 (図 49) について分析する。

46/4720 とほぼ同じ断面・天井反射板の設計案における音響を検討するため、46-4720 と同様にステージ前方の位置にある音源から概ね天井反射板 1 枚あたり 5 本の音線を等間隔で飛ばし、反射音線から、行路 36.3m (音速を 340m/s とすれば 106ms 後) の位置の天井反射板から第一反射音の波面位置を描いている。ホールの最後部に届く直接音の遅れ時間はおおむね 100ms なので、ホール空間は 100ms 以内に直接音のエネルギーで満たされていることが確認できる。一方 100ms 以内の一次反射音は、ホール前方 1/3 程度の範囲にしか届かないと言える。(客席全体では、第一反射音の直接音からの遅れ時間は 80ms 以内なので、エコーの問題はない。) 46-4720 と異なり、客席後部に開口部が設けられているが、音響の検討に大きな影響はない。図面に書かれたメモ (85×45) など意味が不明である。

③ 第3期

最後に第3期について分析する。第1期同様、図50と図51に特徴をまとめた。

46/4942 断面図 7075 × 3545mm		音源の数 1 音源の位置 舞台(オーケストラステージも点がある) 反射板の数 4 反射板の形 平坦/下に凸 天井の形 反射板上部に空間があり、 片流れ屋根で覆われている
46/4943 詳細図 7655 × 4270mm		その他 左上のメモは容積計算と推察。3600m ³ の欄に「ylä tila (英: upper space)」とあることから、14800m ³ がホールの容積、3600m ³ が共鳴空間の容積と思われる。音線は2本だけ後方の反射板に向けて飛ばしている。
46/4944 断面図 10335 × 5348mm		音源の数 2 音源の位置 舞台・オーケストラステージ 反射板の数 4 反射板の形 平坦/下に凸 天井の形 反射板上部に空間があり、 片流れ屋根で覆われている
46/4949 断面図 10370 × 5380mm		その他 舞台を音源とする音線は実線、オーケストラステージを音源とする音線は破線で描かれている。舞台からの音線は反射板1枚につき少なくとも間値の2本を描いている。オーケストラステージからの音線は5本のみ描かれており、ホール前方のみの検討である。反射板で反射した音が客席に落ちる領域を検討したと推察。
46/4951 断面図 S=1/50 10270 × 5390mm		音源の数 2 (他に3点ある) 音源の位置 舞台・オーケストラステージ 反射板の数 4 反射板の形 平坦/下に凸 天井の形 反射板上部に空間があり、 片流れ屋根で覆われている
46/5241 断面図 S=1/50 14290 × 7390mm		その他 舞台を音源とする音線は反射板1枚につき少なくとも間値の2本を描いている。オーケストラステージからの音線は破線で8本のみ描かれておりどの反射板にも少なくとも1本は中央付近に音線を飛ばしている。
		音源の数 3 音源の位置 舞台・オーケストラステージ前方/後方 反射板の数 4 反射板の形 平坦/下に凸 天井の形 反射板上部に空間があり、 片流れ屋根で覆われている
		その他 ※2

図50. フィンランディアホールの図面分析 (第3期 ①)

46/5242

断面図

S=1/50

13970×7140mm

音源の数

3

音源の位置

舞台・オーケストラステージ前方/後方

反射板の数

4

反射板の形

平坦/下に凸

天井の形

反射板上部に空間があり、
片流れ屋根で覆われている

その他

46/5241のコピーの上に書き込みをしているように見える。
2階席の後方に丸印が描き込まれており、音の集中している箇所と音が届いていない箇所を示唆していると思われる。
また、スライド式天井の箇所は透過を示唆するような矢印付きの音線が描かれている。

46/5326

詳細図

S=1/50

3113×1975mm

音源の数

2

音源の位置

舞台・オーケストラステージ

反射板の数

4

反射板の形

平坦/下に凸

天井の形

反射板上部に空間があり、
片流れ屋根で覆われている

その他

反射板とスライド式天井における
反射を検討しているところである。

図51. フィンランディアホールの図面分析（第3期 ②）

第3期では、第2期より実施案に近づく。特に反射板の数と形、共鳴空間や舞台上部の複雑で有機的な形状が単純な形状へと変更されている。また、反射板や天井面の材質が描き込まれており、46/5241（図50 ※2）によると、「liukuvat kattopinnat スライド式天井表面」の材質は「metallisäleikkö 金属カッター」で、反射板の材質は「betoni heijastin コンクリート反射板」、2階席後方の上部の材質は「heijastava betonipinta 反射するコンクリート表面」と記載されていた。天井上部のメモは「lisävolyyymi 追加ボリューム」と記載されている。

反射板の数は4枚となり、舞台からA、B、C、Dと定義されていたことが分かった。Aで反射した1次反射音は1階客席前方から2階席前方までの客席全体にわたり届く。

以上のことから、以下の5点がわかった。

- ・ 音源は当初は舞台上が多かったことに対して、後半になるにつれて、オーケストラステージからの音線検討が多く見受けられた。一方で合唱団を音源とする検討は少なく、ホールの天井における反射は一部分のみ検討されていた。
- ・ 舞台上部の突起はこの合唱団およびオーケストラステージ後方の音の反射・拡散を狙った音響装置と考察できる。
- ・ 反射板の断面形状は上に凸から平坦もしくは下に凸の形状に変化した。より拡散する形態を模索した結果だと思われる。
- ・ 共鳴空間における反射よりも反射板における反射を多く検討している。共鳴空間の形態も当初は曲線空間の連なりであったが、片流れの天井を持つ空間となった。
- ・ 音線と波面検討では音の届く領域を検討しており、音線の密度が薄い箇所に印を打つなど、隅々まで音が行き渡るように配慮しているものと思われる。

第 3 章 音響的特徴の分析

以上の作品別の分析から特徴的であったアアルトの音響装置の成立とその妥当性について分析する。抽出した特徴は「ラメラ構造」、「拡散体」、「平面非対称性」、「天井」である。これらは内部空間において、アアルトの創作期間を通して長く構想を音響的にも意匠的にも発展させていることから選出した。

3.1 ラメラ構造

(1) 成立

「ラメラ構造」は、薄い板の間を音波が繰り返し反射することで吸音と拡散を狙った音響装置である。ガーランド版（VOLUME5 p.187）によると、「The interior side walls are covered by slats similar to those in Aalto's "standard cinema." この内側の側壁はアアルトの『標準的な映画館』に似た薄い板で覆われている。」と記載されている。この『標準的な映画館』とは、雑誌「Kritisk Revy」1928年10月1日号の pp.66-70 にわたりアアルトが寄稿した文献である。ここでのラメラ構造は、吸音効果も兼ねているうえ、スクリーンの映像が壁面で反射し観客の目に届かないようにするため、折り曲げられた、マットブラックの仕上げの金属板となっている。



図52. 「universal cinema」におけるラメラ構造⁹⁹

⁹⁹ Alvar Aalto, Poul Henningsen, Rationel biograf; "Kritisk Revy", October, 1, 1928, p.67 ; 翻訳は筆者による

ガーランド版 (VOLUME3 p.361) によると、「The front part of the auditorium features the folded, sound-absorbing, black-wall-facing invented by Aalto for “the universal cinema.” 講堂の前方はアアルトによって『標準的な映画館』のために発明された折り曲げられた吸音の黒い壁面に特徴づけられている。」との記載があり、この構造はアアルトによって発明されたということがうかがえる。

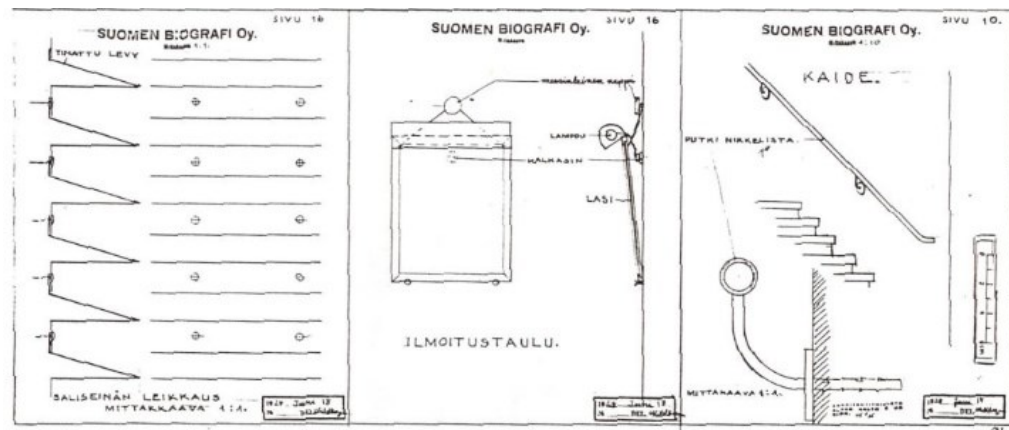


図53. Suomen Biografi Cinema(1928) 45/25 壁の断面図、伝言板、手すり
(300×680mm 1:1と1:10)¹⁰⁰

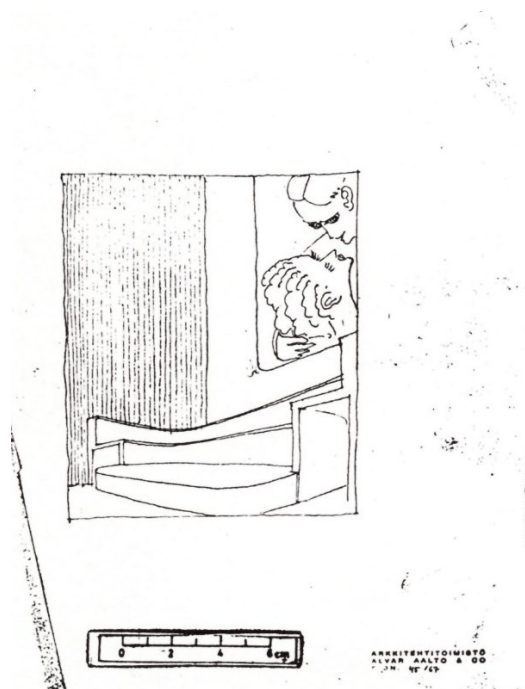


図54. Suomen Biografi Cinema(1928) 45/67 スクリーンと出口のスケッチ (223×360mm)¹⁰¹

¹⁰⁰ Alvar Aalto, Göran Schildt: THE ARCHITECTURAL DRAWINGS of Alvar Aalto 1917-1939, Vol.3, Garland Pub., 1994, p.375

¹⁰¹ Alvar Aalto, Göran Schildt: THE ARCHITECTURAL DRAWINGS of Alvar Aalto 1917-1939, Vol.3, Garland Pub., 1994, p.388

このような鋭利な形のラメラ構造はミカエル・アグリコラの教会にてルーバーのような薄い板の連続へと変貌を遂げる。その後もラメラはいたるところで見受けられ、ヴォクセンニスカの教会の側壁、デトメローデの教会の壁、エッセンのオペラハウスでは曲げ木のレリーフのようになり、文化の家では会議とコンサートの両方の用途に合わせた代替式パネルである。そして、フィンランディアホールでは天井と側壁に用いられている。

(2) ラメラ構造の吸音率推定

このようにアアルトが積極的に用いたラメラ構造の音響性能については、拡散と吸音の効果があると考えられる。拡散性能については、拡散係数 (scattering coefficient) によって表現されるが、実測する以外に値を求めることは難しい。吸音性能については、吸音率によって表現され、残響式を用いてある程度の推定が可能であるため、ここでは図面および2件の残響測定の結果 (Lokki および Arni による測定データ：表5) を用いて推定を試みた。

表5 文化の家の技術情報(再掲)

測定者 (年)	容積V	全表面積ST	座席数	測定条件	残響時間 (周波数毎)					
					125	250	500	1K	2K	4K
Paavo Arni (1960)	10000	3200	1500	満席	1.2	1.25	1.1	1	0.9	0.9
Tapio Lokki他 (2012)	7800		1390	空席	—	1.6	1.6	1.6	—	—

室容積と表面積について、Arni と Lokki 他では値が異なるため、Archicad26 (Graphisoft 社) を利用し、図面から文化の家を作成しより正確な値を割り出した。(図55 及び 56) その結果、室容積は 9475.77 m³ となった。ただし、客席や後方の複雑な3次元曲面は概ねの形態を仮定して計測している。

表6 室容積

測定者	室容積 (m ³)
筆者	9,475.77

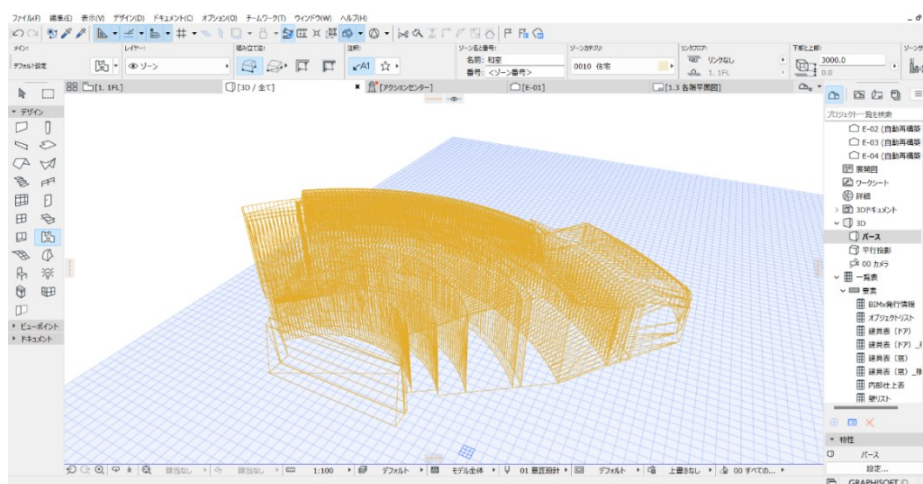


図55. Archicad26 (Graphisoft 社) 上に作成した文化の家の容積ゾーン

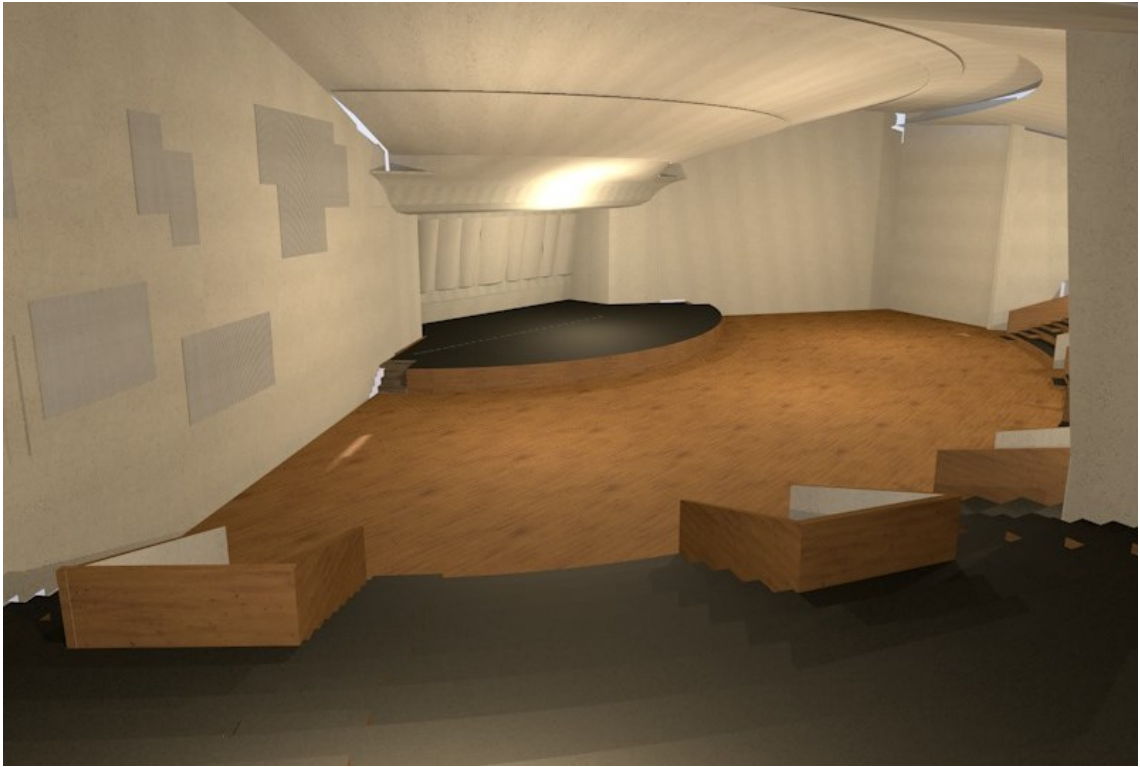


図56. Archicad26 (Graphisoft 社) 上に作成した文化の家の内観パース

手順

α : ラメラの吸音率、 S : ラメラの表面積、 T : 残響時間、 A : ラメラを除く計算上の吸音力、 E : 吸音力の誤差として（添字の 0 は空席時を、1 は満席時を意味する）、空室時・満室時の Sabine による残響式を書き下すと

$$T_0 = \frac{kV}{S\alpha + A_0 + E_0} \rightarrow S\alpha = \frac{kV}{T_0} - (A_0 + E) \quad \cdots (1)$$

$$T_1 = \frac{kV}{S\alpha + A_1 + E_1} \rightarrow S\alpha = \frac{kV}{T_1} - (A_1 + E) \quad \cdots (2)$$

となる。両式の和を取ると

$$2S\alpha = kV \left(\frac{1}{T_0} + \frac{1}{T_1} \right) - (A_0 + A_1) + 2E \quad \cdots (3)$$

$$\alpha = \left(kV \left(\frac{1}{T_0} + \frac{1}{T_1} \right) - (A_0 + A_1) \right) / 2S + \frac{E}{S} \quad \cdots (4)$$

となる。 $k=0.16$ である。

よって、Lokki と Arni の残響時間の測定値を利用したうえで、正確な容積とラメラ構造の表面積、空席時と満席時のラメラ構造以外の吸音力から α が妥当な数値となるように E を推定することで α が求まる。

まず、吸音力は材質ごとに区別し、図面を参照しながら計算する。

Google Earth¹⁰²の写真を用いて、側壁を寒色系で、床を茶系で、天井・後壁を暖色系で色分けし図示した。(図 57)

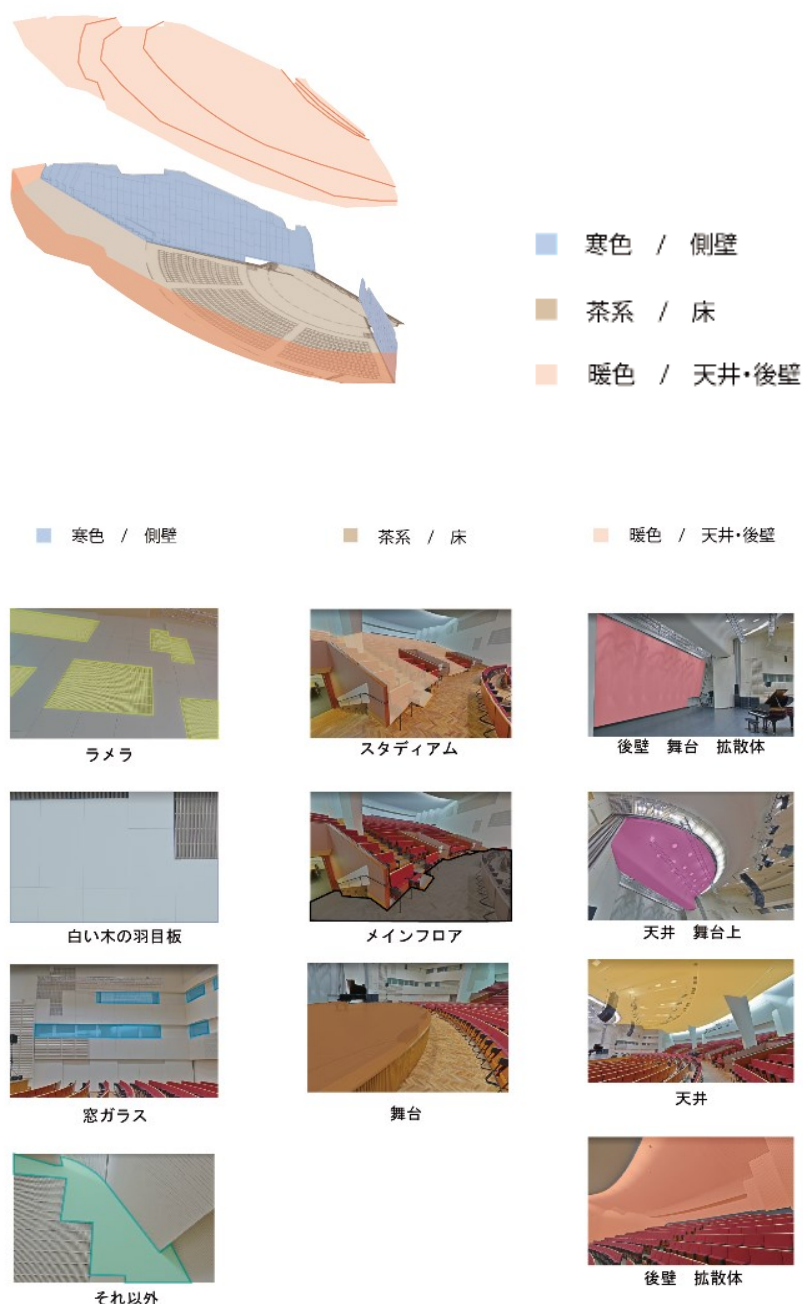


図57. 材質の領域の色分け参照・写真⁸⁸

¹⁰²Google Earth

[https://www.google.com/maps/@60.1882132,24.944175,2a,70.7y,122.62h,89.48t/data=!3m6!1e1!3m4!1s5q1WLJnB2rC07EVGWylbZg!2e0!7i13312!8i6656\(2022/12/31 アクセス\)](https://www.google.com/maps/@60.1882132,24.944175,2a,70.7y,122.62h,89.48t/data=!3m6!1e1!3m4!1s5q1WLJnB2rC07EVGWylbZg!2e0!7i13312!8i6656(2022/12/31 アクセス))

図 58 において側壁の領域を図示している。

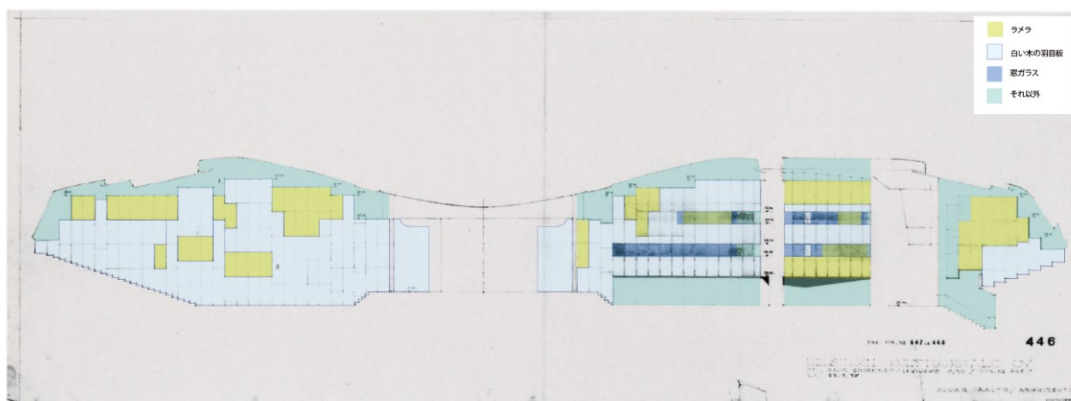


図58. 講堂断面の展開図における材質別参照図¹⁰³（筆者描き込み済み）

図 59 において床の領域を図示している。

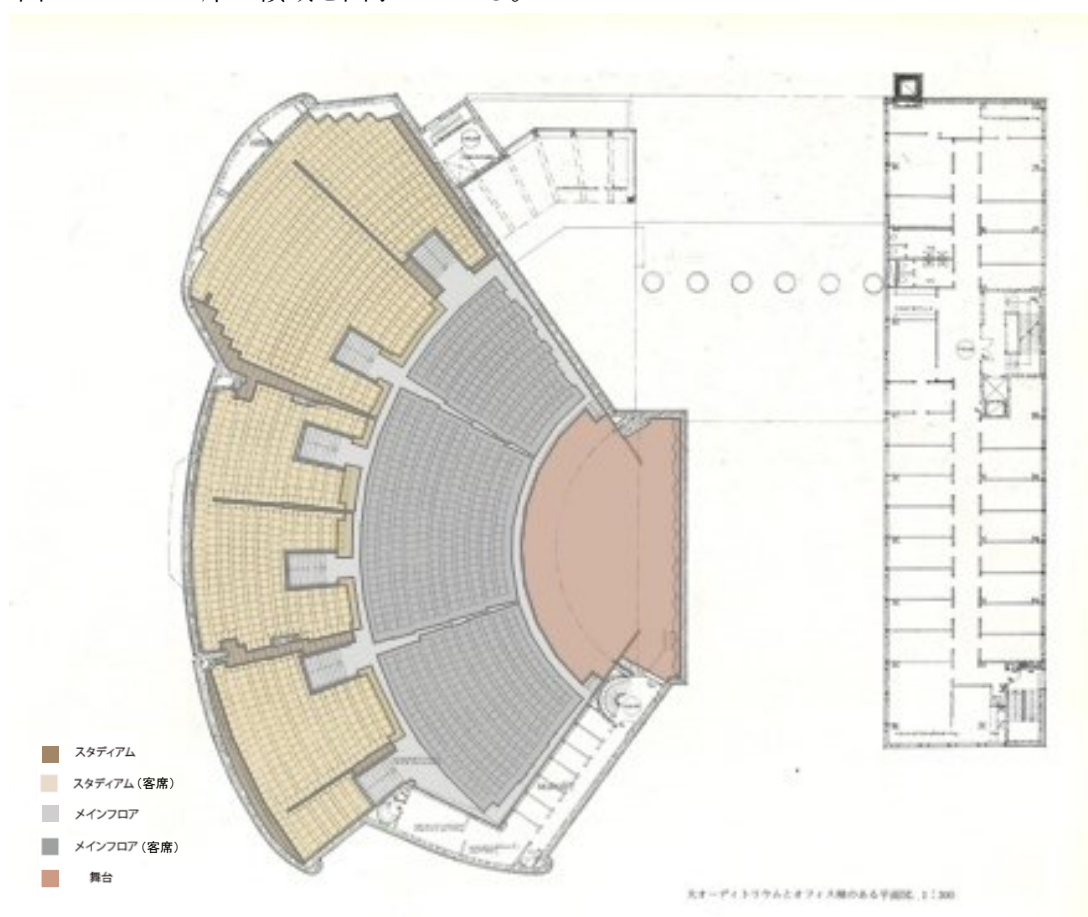


図59. 平面図の材質別参照図¹⁰⁴（筆者描き込み済み）

¹⁰³ Alvar Aalto kulttuuritalo : House of Culture Helsinki / [edited by Harry Charrington]. -- Finnish Building Centre : Rakennustieto oy, c1998 plate No.29

¹⁰⁴ エリサ・アアルト, カール・フライク編 ; 武藤章訳, Alvar Aalto, A.D.A.EDITA Tokyo, 1979, VOLUME1, p.185

図 60 と図 61 において天井と後壁の領域を図示している。

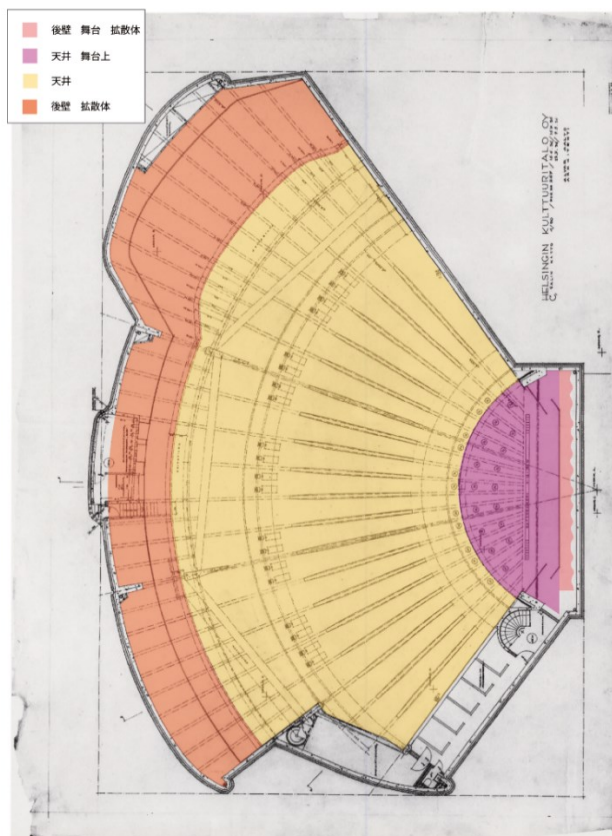


図60. 天井の反転図における材質別参照図¹⁰⁵（筆者描き込み済み）

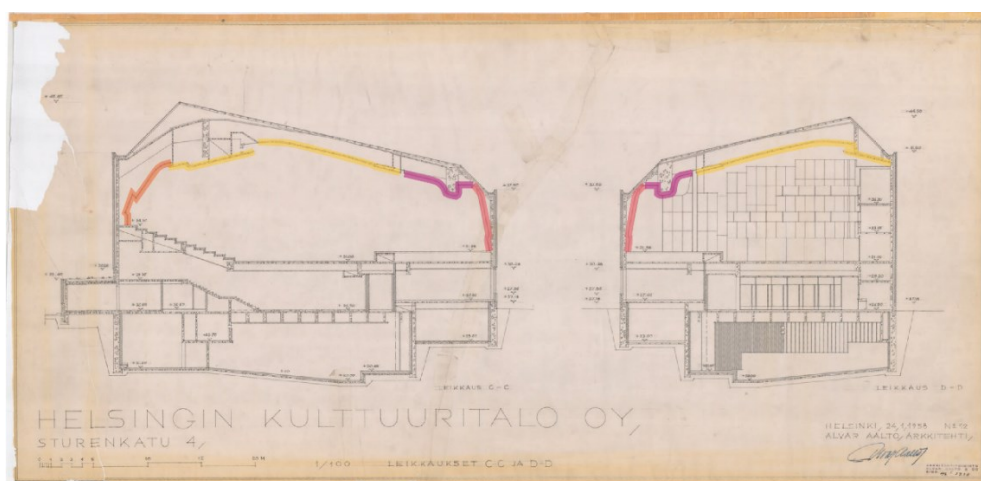


図61. 46/1300 C-C と D-D 断面図 (1/100 1800×883mm) における材質別参照図
(筆者描き込み済み) (アルヴァ・アアルト財団所蔵)

¹⁰⁵ Alvar Aalto kulttuuritalo : House of Culture Helsinki / [edited by Harry Charrington]. -- Finnish Building Centre : Rakennustieto oy, c1998 plate No.30

その際、吸音率は主に Beranek¹⁰⁶の著書とガラスのみ日本建築学会の資料¹⁰⁷から引用した。座席については、Beranek⁸⁵の面積の求め方を採用する。幅 0.5m のマージンを客席の周囲に設け、座席が壁についている場合はマージンを設けない。計算の結果、全表面積は 3715.24 m² となった。ラメラ構造の面積は 88 m² である。以上の材質と吸音率を表 7 と表 8 にまとめた。そして、表 9 にラメラ構造を除く吸音力の合計をまとめた。

表 7 材質と吸音率 (Tapio Lokki : 空席時)

吸音率	材質	表面積(m2)	125	250	500	1K	2K	4K
天井	プラスター	1147.1	0.12	0.09	0.07	0.05	0.05	0.05
天井 舞台上	木にプラスター塗	153.5	0.19	0.14	0.09	0.06	0.06	0.06
側壁 白い木の羽目板	木 22mm	242.0	0.42	0.21	0.10	0.08	0.06	0.06
側壁 窓	ガラス	21.2	0.35	0.25	0.18	0.12	0.07	0.04
側壁 それ以外	コンクリート	115.3	0.02	0.02	0.02	0.04	0.05	0.05
後壁 客席	コンクリート	176.1	0.02	0.02	0.02	0.04	0.05	0.05
後壁 反射板	木	405.7	0.19	0.14	0.09	0.06	0.06	0.06
後壁 舞台 拡散体	木にプラスター塗	104.1	0.19	0.14	0.09	0.06	0.06	0.06
床 舞台	リノリウム	177.6	0.01	0.01	0.02	0.02	0.03	0.03
床 メインフロア	フローリング	236.7	0.10	0.11	0.10	0.07	0.06	0.07
床 メインフロア	座席	271.3	0.32	0.50	0.73	0.87	0.85	0.85
床 スタジアム	リノリウム	46.0	0.01	0.01	0.02	0.02	0.03	0.03
床 スタジアム	座席	530.8	0.32	0.50	0.73	0.87	0.85	0.85

表 8 材質と吸音率 (Paavo Arni : 満席時)

吸音率	材質	表面積(m2)	125	250	500	1K	2K	4K
天井	プラスター	1147.1	0.12	0.09	0.07	0.05	0.05	0.05
天井 舞台上	木にプラスター塗	153.5	0.19	0.14	0.09	0.06	0.06	0.06
側壁 白い木の羽目板	木 22mm	242.0	0.42	0.21	0.10	0.08	0.06	0.06
側壁 窓	ガラス	21.2	0.35	0.25	0.18	0.12	0.07	0.04
側壁 それ以外	コンクリート	115.3	0.02	0.02	0.02	0.04	0.05	0.05
後壁 客席	コンクリート	176.1	0.02	0.02	0.02	0.04	0.05	0.05
後壁 反射板	木	405.7	0.19	0.14	0.09	0.06	0.06	0.06
後壁 舞台 拡散体	木にプラスター塗	104.1	0.19	0.14	0.09	0.06	0.06	0.06
床 舞台	オーケストラ	177.6	0.39	0.57	0.80	0.94	0.92	0.92
床 メインフロア	フローリング	236.7	0.10	0.11	0.10	0.07	0.06	0.07
床 メインフロア	座席	271.3	0.39	0.57	0.80	0.94	0.92	0.92
床 スタジアム	リノリウム	46.0	0.01	0.01	0.02	0.02	0.03	0.03
床 スタジアム	座席	530.8	0.39	0.57	0.80	0.94	0.92	0.92

表 9 ラメラ構造を除く吸音力(m²)の合計

測定者	条件	吸音力	125	250	500	1K	2K	4K
Tapio Lokki	空	A0	661.1	687.4	787.5	849.6	830.4	832.1
Paavo Arni	満	A1	784.8	843.0	982.2	1069.1	1044.6	1046.3

¹⁰⁶ Leo Leroy Beranek, 寺崎恒正, 長友宗重, 音楽と音響と建築, 東京: 鹿島研究所出版会, 1972.1, p.491

¹⁰⁷ 日本建築学会音響設計, 日本建築学会設計計画パンフレット, 彰国社, 1965

以上から、 $V=9,475.77$ 、 $S=88$ 、表 4 及び 8 の数値を式 (4) に代入する。

$$\alpha = \left(kV \left(\frac{1}{T_0} + \frac{1}{T_1} \right) - (A_0 + A_1) \right) / 2S + \frac{E}{S} \cdots (4) \text{ (再掲)}$$

仮に $E=0$ として α を求めると、周波数により 1 を超えたり、負の値となったりするため、周波数毎に適切な E を設定することが必要となる。ここで E の値は、各周波数の空室時および満室時の吸音率平均値に $1000 \sim 1600 \text{ m}^2$ 程度の値を掛け合わせた値とした。結果として、 E の数値は表 10 と推定し、表 11 に推定した 125 Hz から 4 KHz までのオクターブバンド毎のラメラ構造の吸音率を示す。ただし、Lokki の残響時間測定値は、中音域 (250～1K Hz の平均) の値であり、125 Hz および 4K Hz についても同じ値であると仮定して用いている。

表 10 E (吸音力の誤差) の数値

周波数 (Hz)	125	250	500	1K	2K	4K
E (吸音力の誤差)	310.2	268.2	251.1	222.3	322.5	341.5

表 11 文化の家に用いられたラメラ構造の吸音性能

周波数 (Hz)	125	250	500	1K	2K	4K
吸音率 (-)	0.51	0.53	0.31	0.57	0.64	0.76

よって、ラメラ構造の吸音率は 0.31-0.64 と推定できた。500Hz で最も低く、2KHz で最も高い吸音率となった。

多機能ディフューザーと Quadratic Residue Diffusers (QRD) 拡散体の吸音率と比較すると、図 62 のようになる。図からわかるように、ラメラ構造の吸音率は 125Hz から 4KHz の周波数間において多機能ディフューザーよりも高く、QRD については 500Hz においてのみ低くなるという結果になったが、全体的に吸音率は高いことがわかった。

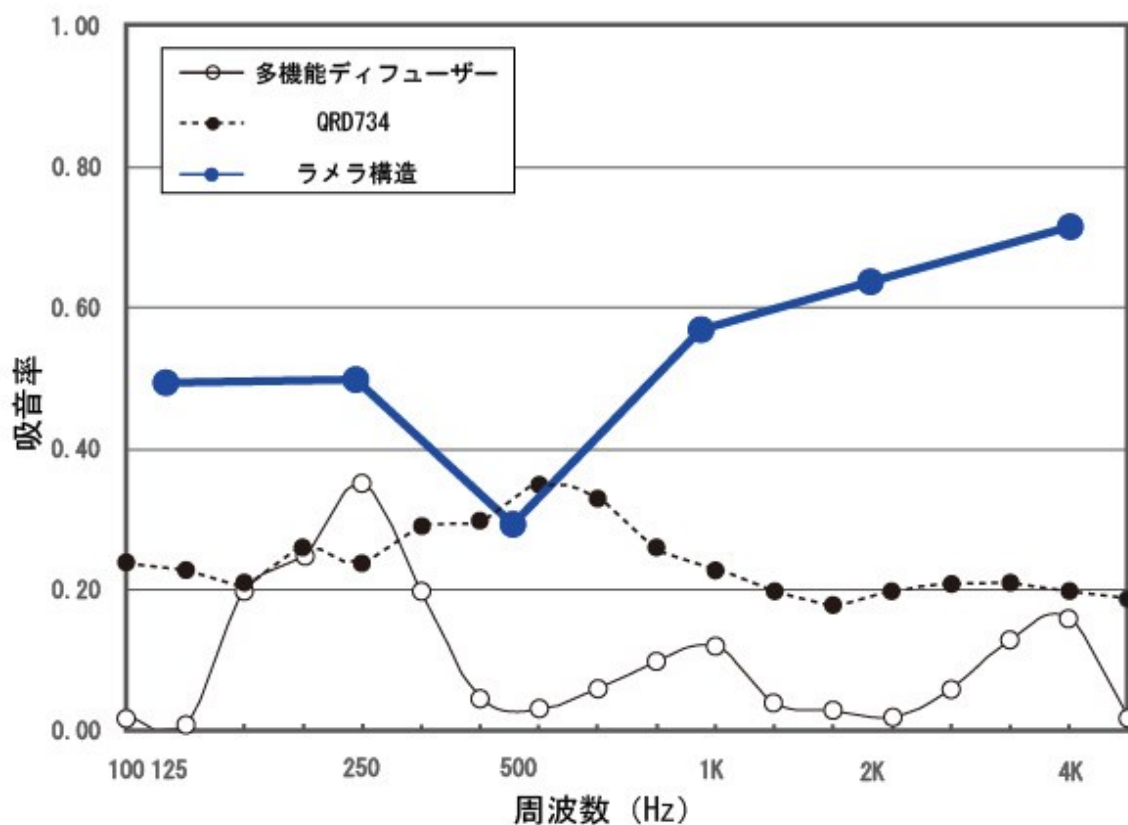


図62. ラメラ構造とその他拡散体の吸音率¹⁰⁸

¹⁰⁸ Bow-Hong Yeh, Rong-Ping Lai, and Fang-Ming Lin, Effects of Wooden Multifunctional Diffusers on Sound Field in the Listening Room, inter-noise 2011 Osaka Japan September 4-7, 2011, pp.1-7
図は論文内の図 5 参照

3.2 拡散体

(1) 成立

その成立について、1922年には写真8のようなステージのバックシェルを設計しており、1924-28年のセイナヨキ防衛軍団ビル（図63）では、ガーランド版によると、「野外ステージは背面が丸みを帯び、天蓋のような突き出た屋根を備えた建物の形状と素材は、音響を考慮して決定されました」と記されている。つまり、このような後壁は音響を考慮した産物であることがわかる。

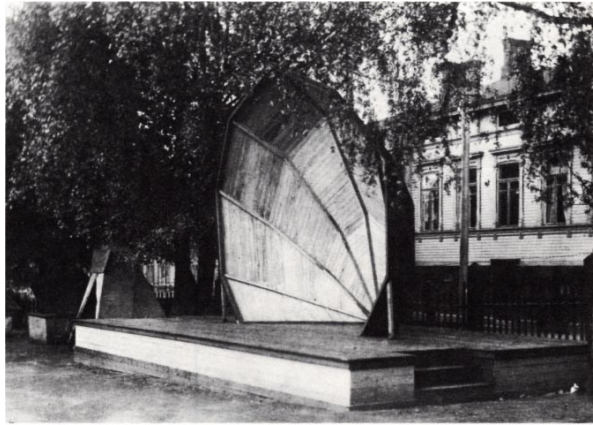


写真8 タンペレの工業博覧会のバックシェル¹⁰⁹

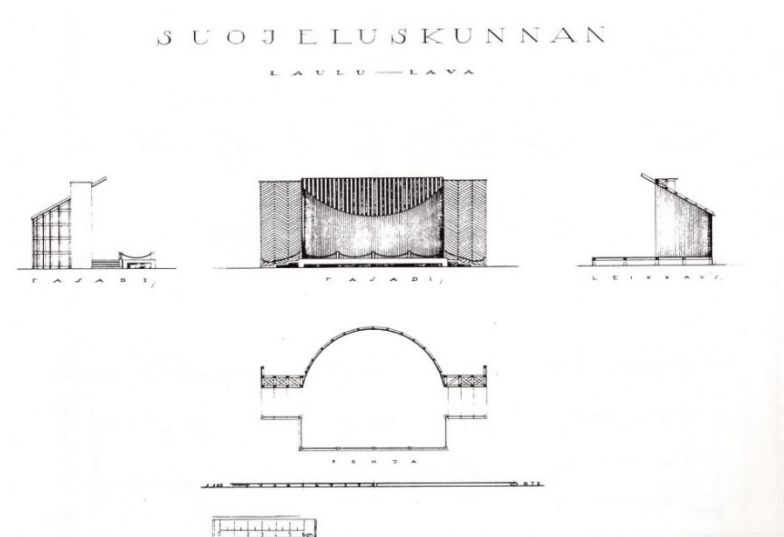


図63. セイナヨキの防衛軍団ビル¹¹⁰

(46/150 コンサートプラットホームの正面、断面、平面 468×660mm 1:100)

¹⁰⁹ Göran Schildt 著, Alvar Aalto The Decisive Years, RIZZOLINTERNATIONAL PUBLICATIONS, INC., 1986, p.218

¹¹⁰ Alvar Aalto, Göran Schildt: THE ARCHITECTURAL DRAWINGS of Alvar Aalto 1917-1939, Vol.1, Garland Pub., 1994, p.335

そして、後壁に対して音線の検討がされるのは、トゥルク市 700 周年記念の合唱団プラットフォームである（図 64、65）。音源を 2 か所設定し、後壁と床での 1 次反射音を音線にて検討している。その後も初期教会堂などでも祭壇周りの反射を考察している。

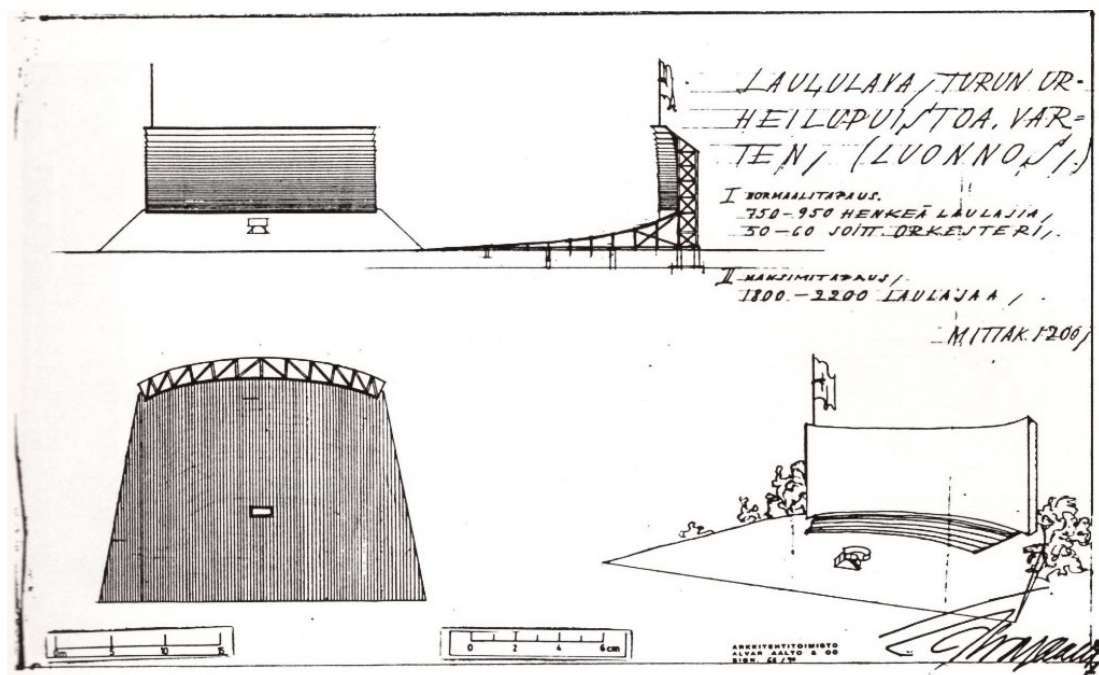


図64. トゥルク市 700 周年記念の合唱団プラットフォーム¹¹¹
(68/90 平面、断面、正面立面、パース 315×503mm 1:200)

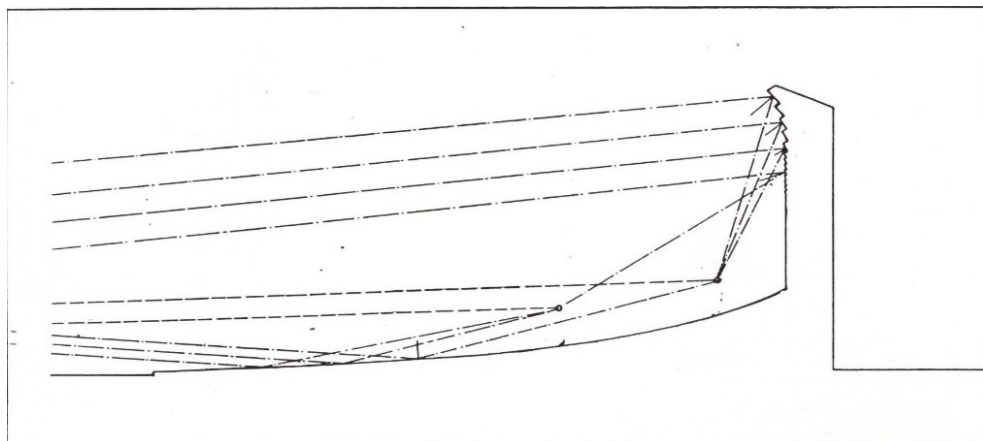


図65. トゥルク市 700 周年記念の合唱団プラットフォーム¹¹²
(68/94 音響のスタディ 275×465mm 1:100)

¹¹¹ Alvar Aalto, Göran Schildt: THE ARCHITECTURAL DRAWINGS of Alvar Aalto 1917-1939, Vol.4, Garland Pub., 1994, p.54

¹¹² Alvar Aalto, Göran Schildt: THE ARCHITECTURAL DRAWINGS of Alvar Aalto 1917-1939, Vol.4, Garland Pub., 1994, p.55

(2) 形態

以上の流れから、アアルトは音源の後ろに反射板や拡散体を設置することを初期のころから継続して実行している。この後壁の表面が波打つようになるのは定かではないが実施案を観察する限り、文化の家からである。その後デトメローデの教会やフィンランディアホールの後壁も波打つようになっている。特に内側に向かって凸であり、より拡散する効果を狙っていたことがうかがえる。

文化の家において特筆すべきはその表面が波打って、傾いていることである。図面から計測すると、幅約 15m で、高さ約 6m、舞台に向かって 11 度傾いている。材質は木にプラスター塗りと思われる。凸面が多いため、拡散の効果はあると推測できる。

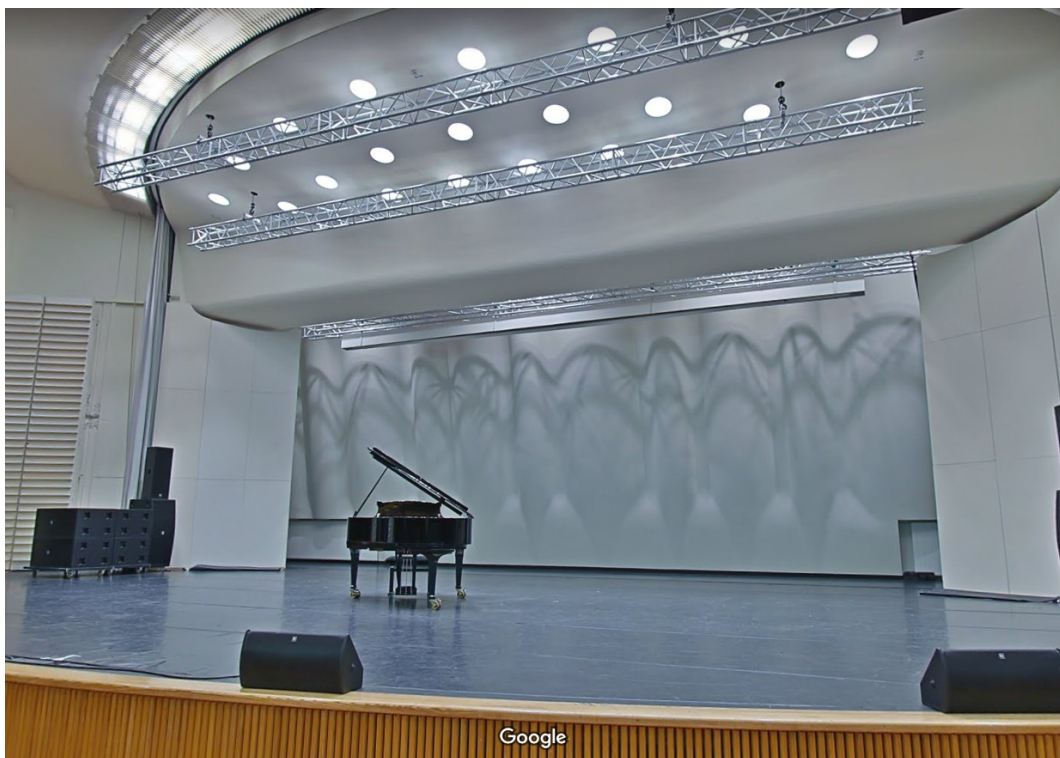


写真 9 文化の家の舞台後ろ拡散体¹¹³

フィンランディアホールにおいても文化の家同様、表面が波打っていて、傾いている。表面の凹凸は文化の家に比べて少なく、凸部は 4 つである。幅約 17.4m で、高さ約 11 m、舞台に向かって 10 度傾いている。材質は確認できなかった。表面の凹凸が少ないため、文化の家に比べ拡散の効果は小さい可能性があるが、傾斜度と凹凸の表面はアアルトのたどり着いた拡散体の形と認識できる。

¹¹³ Google Earth

[https://www.google.com/maps/@60.1882132,24.944175,2a,70.7y,122.62h,89.48t/data=!3m6!1e1!3m4!1s5q1WLJnB2rC07EVGWylbZg!2e0!7i13312!8i6656\(2022/12/31 アクセス\)](https://www.google.com/maps/@60.1882132,24.944175,2a,70.7y,122.62h,89.48t/data=!3m6!1e1!3m4!1s5q1WLJnB2rC07EVGWylbZg!2e0!7i13312!8i6656(2022/12/31 アクセス))

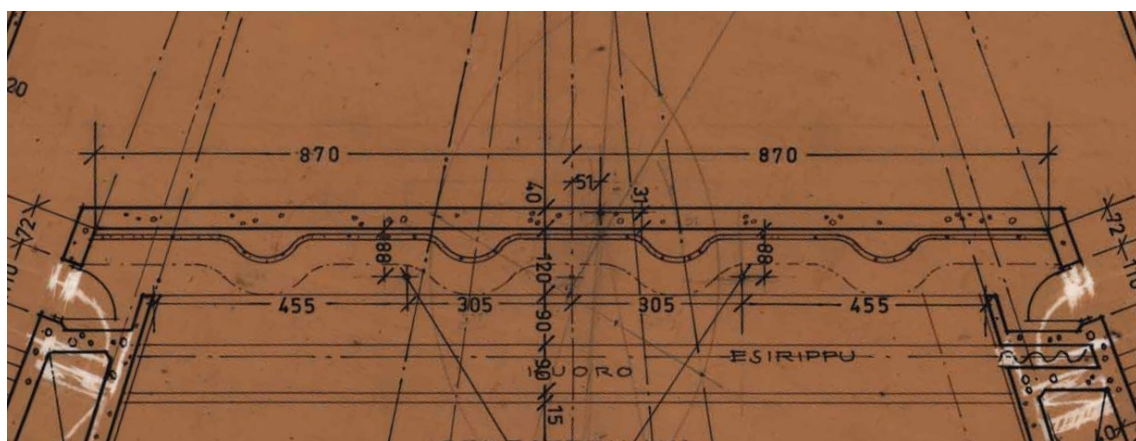


図66. フィンランディアホール of 舞台後方拡散体
46/4877 (トリミング済み) (アルヴァ・アアルト財団所蔵)

3.3 平面非対称性

(1) 成立

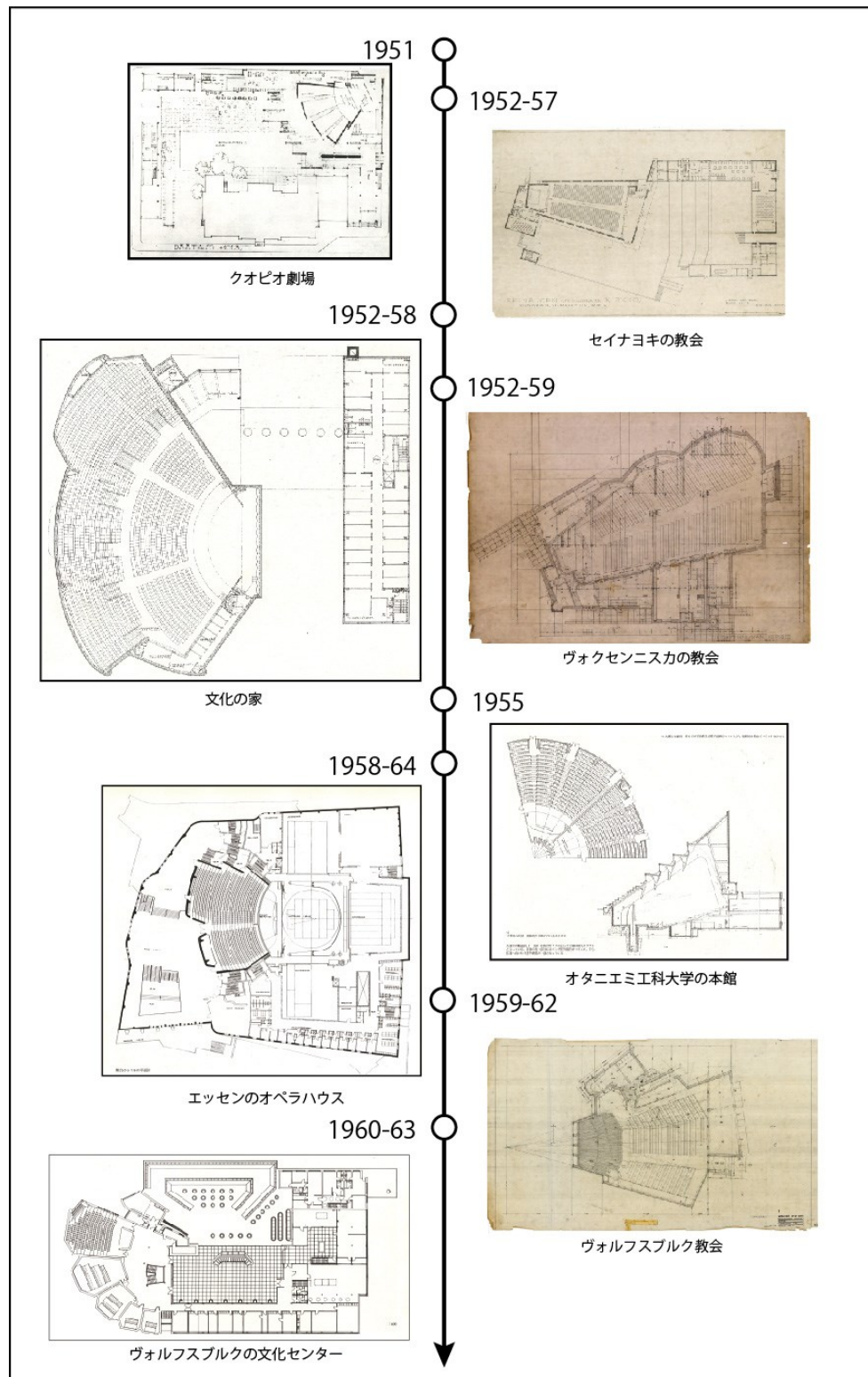


図67. 非対称平面図の変遷 ①

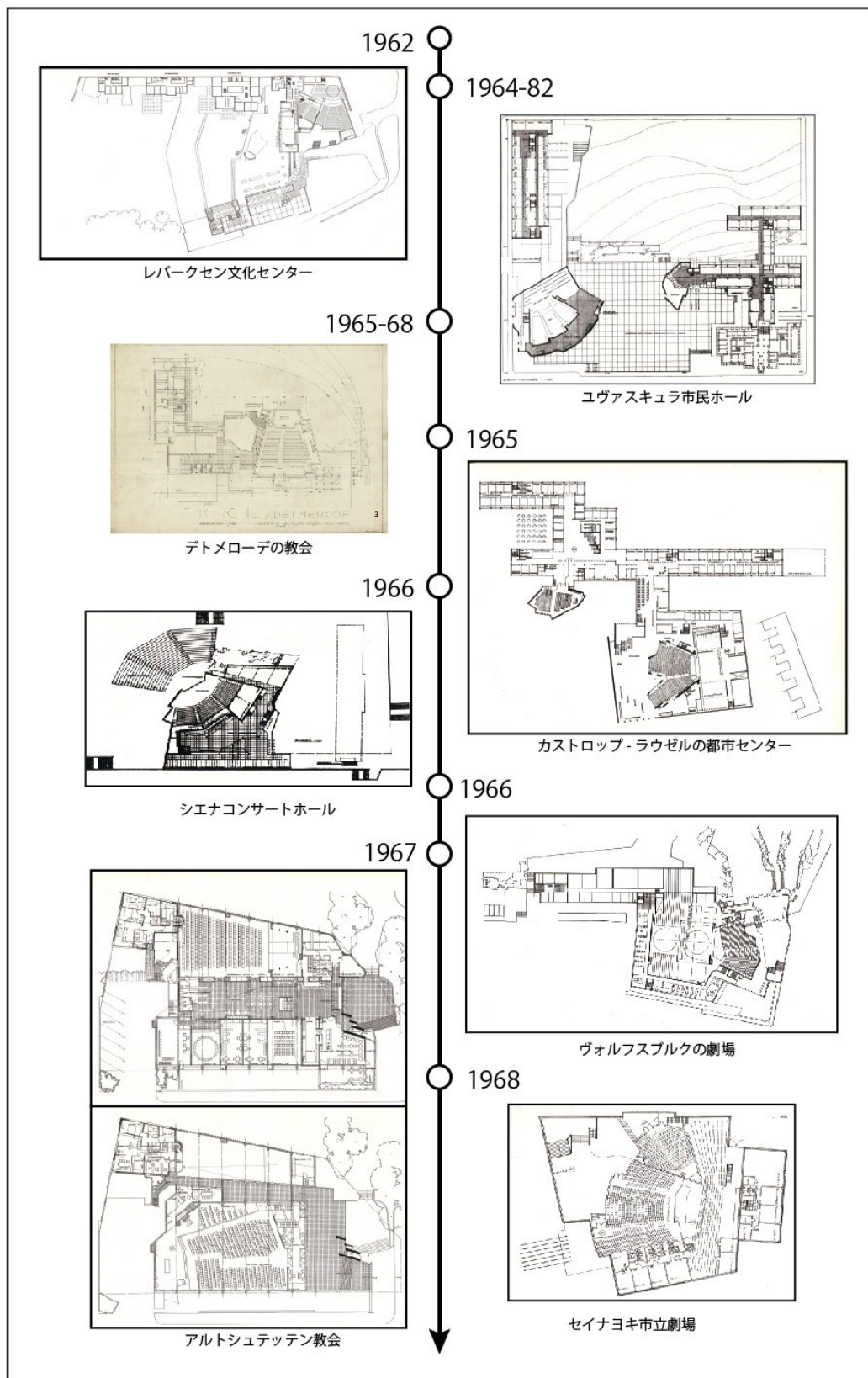


図68. 非対称平面図の変遷 ②

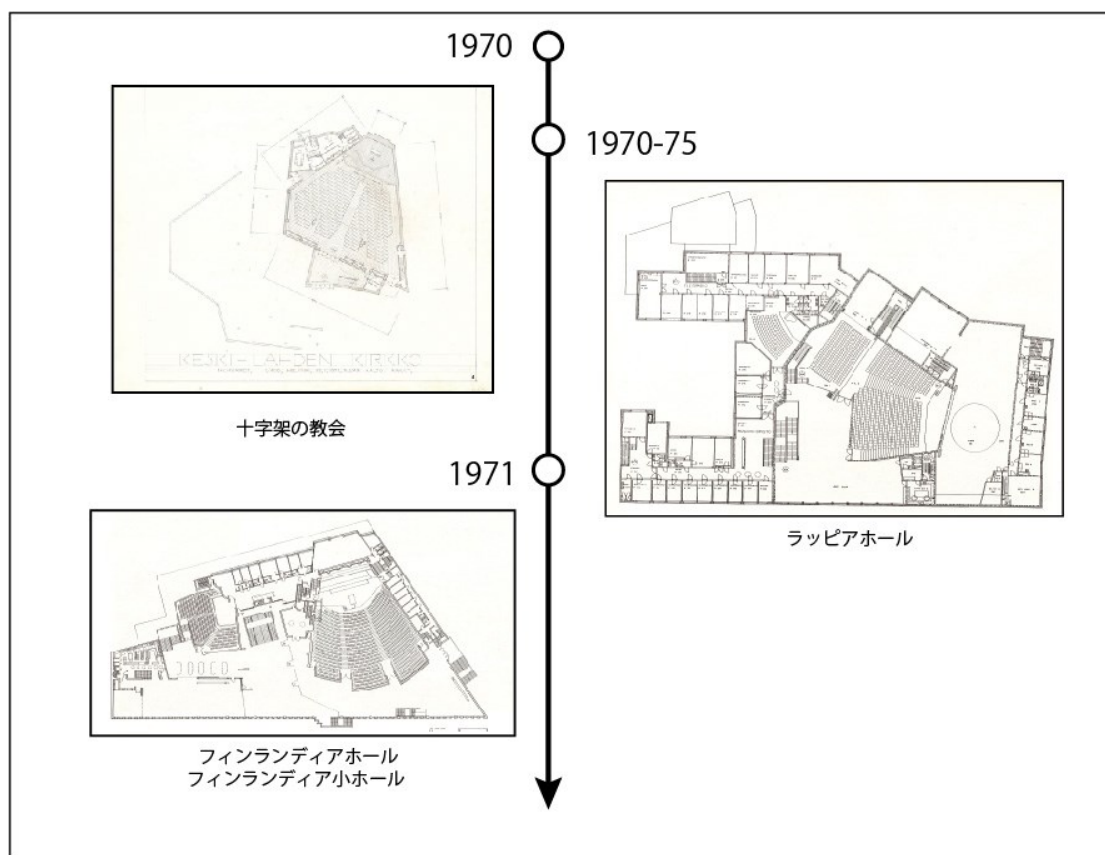


図69. 非対称平面図の変遷 ③¹¹⁴

アアルトが平面非対称形を始めたのは筆者が調べたところ、1951年のクオピオ劇場からである。図67-69においてその変遷を図示した。アアルトはそののちも非対称の平面を継続して設計している。長年にわたり継続した理由はわからなかったが、ヴォクセンニスカの教会などでは、均一な音響環境のためであることがわかっている。

平面形が中心軸で非対称性を持つことは、音響的に好ましいと考えられる。対称の平面形は、側壁からの反射が客席部中央に同時に到来し、干渉によるカラーレーションを引き起こすなど、反射音の時間特性に規則性などが現れやすく、音質の偏りなどに繋がる恐れがある。

¹¹⁴ ・クオピオの劇場(第1巻 p.149)・文化の家(第1巻 p.185)・エッセンのオペラハウス(第1巻 p.250)・オタニエミ工科大学の本館(第2巻 p.195)・ヴォルフスブルクの文化センター(第2巻 p.63)・レバークセン文化センター(第2巻 p.23)・ユヴァスキュラ市民ホール(第2巻 p.17)・カストロップ-ラウゼルの都市センター(第2巻 p.24)・シエナコンサートホール(第2巻 p.110)・ヴォルフスブルクの劇場(第2巻 p.107)・アアルトシュテッテン教会(第2巻 p.176)・セイナヨキ市立劇場(第2巻 p.103)・ラッピアホール(第3巻 p.168)・フィンランディアホール(第2巻 p.99)：カール・フライク編；武藤章訳、アルヴァ・アアルト作品集, A. D. A. EDITA Tokyo Co., Ltd., 1979年8月7日

・セイナヨキの教会・ヴォクセンニスカの教会・ヴォルフスブルク教会・デトメローデの教会・十字架の教会：『Alvar Aalto Foundation』[https://www.alvaraalto.fi/en/\(2023/01/25 アクセス\)](https://www.alvaraalto.fi/en/(2023/01/25%20アクセス))

(2) 非対称平面の事例と近年の評価

近年、ワインヤード型を採用するホールでは、平面形のみならず、座席区画のレベルも非対称性を持たせて、壁を設けることで、側方反射を増やす工夫につなげている。例えば、Orange County Performing Arts Center (1986) は、図 70 からわかるように 2 階以上の客席を平面では非対称に高さ方向には交互に配置することで壁面を増やし、バルコニー前の壁からの側方反射を 1 段下の客席に供給する試みを行っている。

また、安藤・古屋¹¹⁵によると、「非対称形状では対象形状に比べ反射音レベルの距離減衰量が小さく、(中略) この結果は、幾何音響シミュレーションによって得たこれまでの知見と符合するものであり、非対称平面形を視野に入れた形状設計が有効であることを示唆するものである。」という研究結果が出ており、アアルトが平面に非対称性を持たせて設計していたことは妥当な考えであったことがうかがえる。

¹¹⁵ ・ 安藤美月, 古屋浩, 非対称ホール空間の音場特性に関する検討, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.67-68, 2004

・ 安藤美月, 古屋浩, 非対称ホール空間の音場特性に関する検討 (その 2) 音響模型実験による考察, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.147-148, 2005

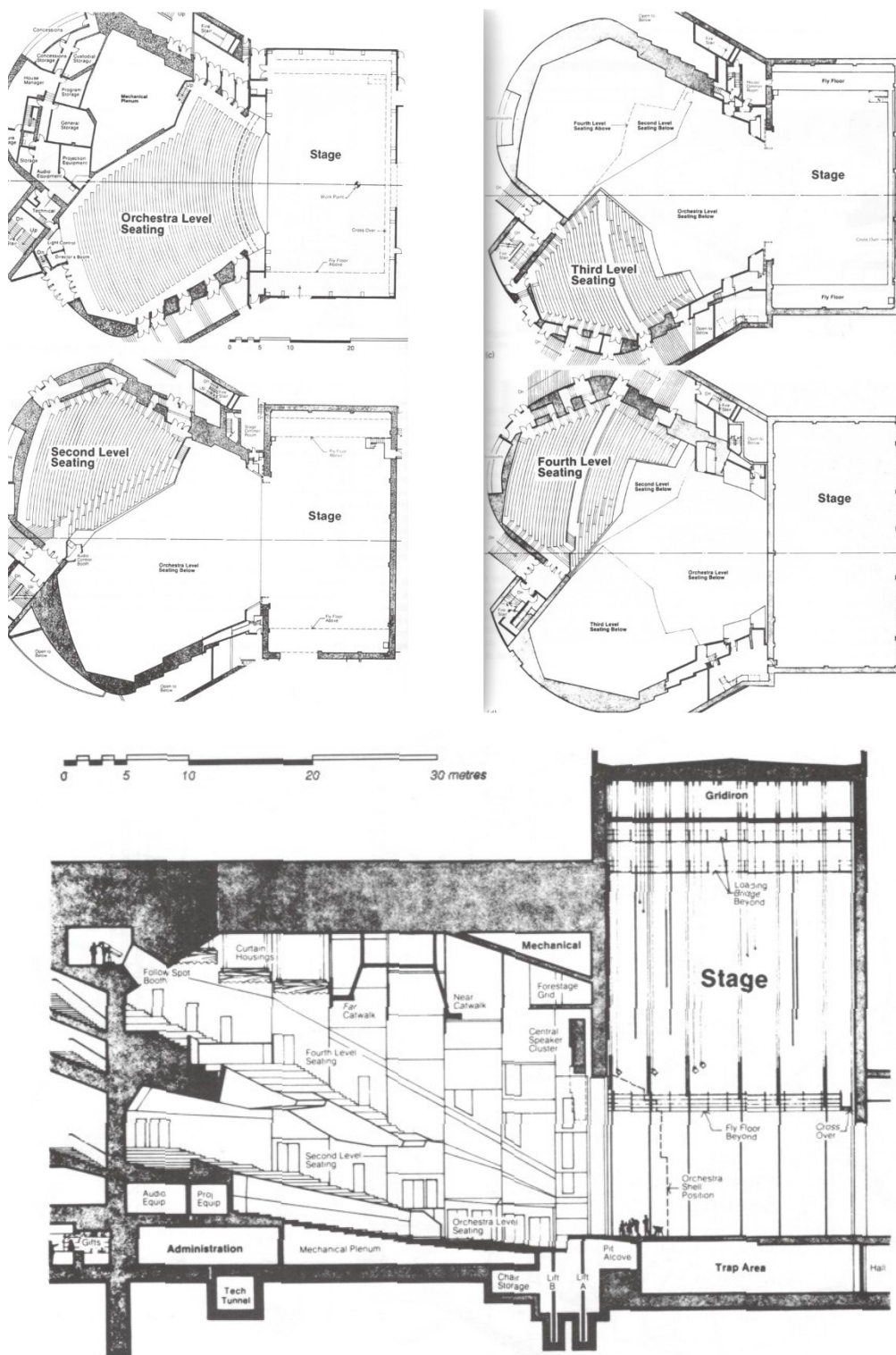


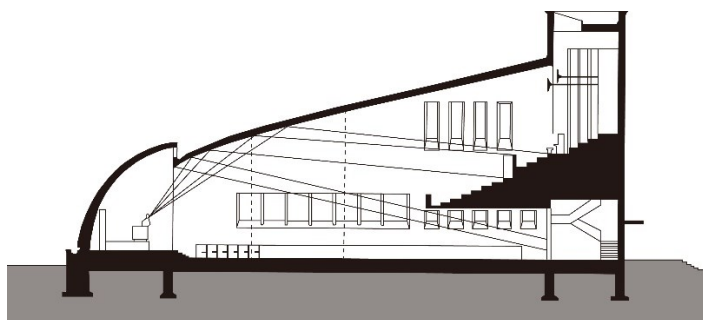
図70. Orange County Performing Arts Center, California 平面図/断面図¹¹⁶
(トリミング済)

¹¹⁶ Micheal Barron, Auditorium Acoustics and Architectural Design, E & FN Spon, 1993, pp.353-356

3.4 天井

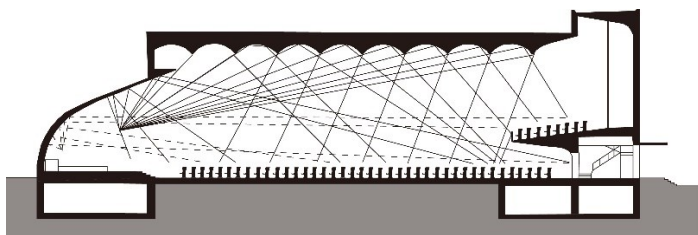
1929

ヴァリラの教会



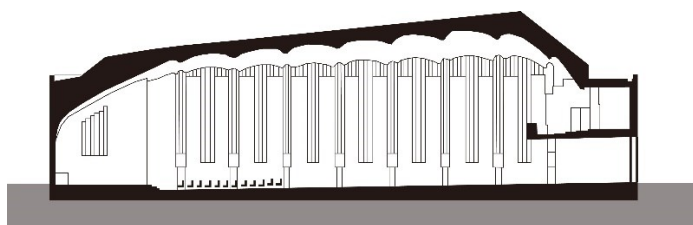
1930

ミカエル・アグリコラの教会



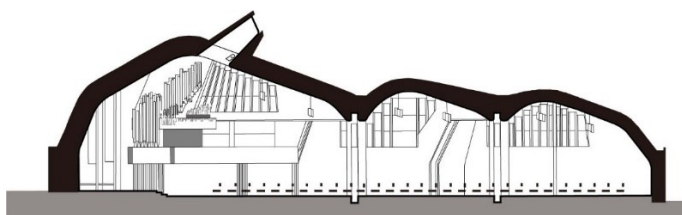
1952-57

セイナヨキの教会



1952-57

ヴォクセンニスカの教会



1965-68

デトメローデの教会

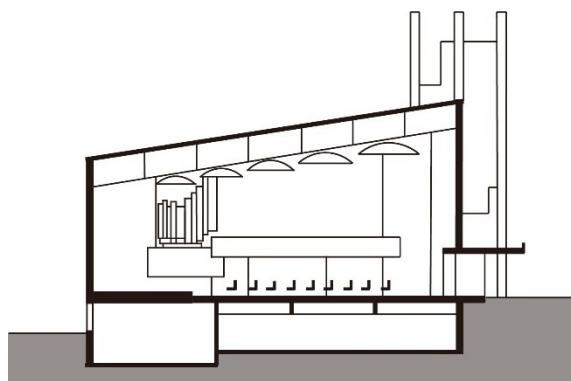


図71. 年代と教会の断面図

(1) 成立

天井について分析するために、アアルトの設計した順にその変遷を観察する。

ヴァリラの教会の設計案では斜めの天井の傾きを変えることで均一な音響を客席に届けようとしている。次にミカエル・アグリコラの教会の設計案からわかるように音響的に拡散をもたらす天井箇所を上に出と設計している。これはおそらく教会建築のヴォールトの形状に倣ったと推測している。これもヴァリラの教会同様、天井での反射音が届く範囲を検討している。そして、次第にヴォールトの形が変形し、セイナヨキの教会やユヴァスキュラの大学講堂のようなになったのち、天井全体が曲面になるヴォクセンニスカの教会のような断面へと変貌を遂げる。

同年代に設計された文化の家では、図 72 ように当初は緩いヴォールトの連続のような天井の形態であったが、図 72-75 のように緩いカーブを描く天井となっている。Harry Charrington によると、オーディトリウムの天井が高くなったのは音響コンサルタントのアルニの扇動によるものとされており、アアルトは当初、天井に可動式浮雲パネルを構想していたがアルニに思いとどまらせられたのだらうと言われている。また、音響学専門家のベラネクによると、天井の形が、効果的に短い初期時間遅れを与えるようになっているので、このホールは短い残響時間や広い扉型をした平面から予想されるよりも、ずっと良い音がすると評している。よって、アアルトの設計意図は実施案には多くは含まれなかったが、音響的な効果を上げているということがわかる。また、客席後方は木の反射板でできており、音響的配慮の跡だと思われる。

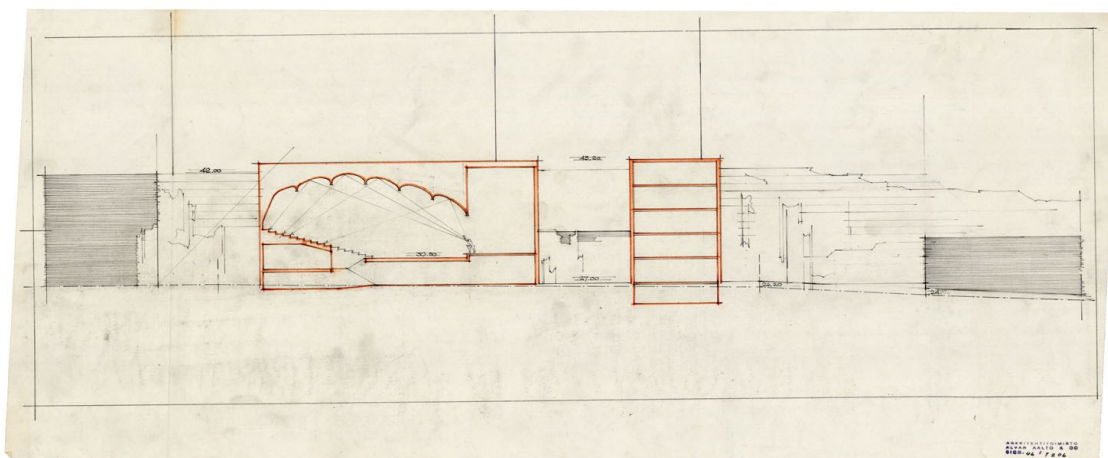


図72. 46/1206 断面図 (1484×616mm) (アルヴァ・アアルト財団所蔵)

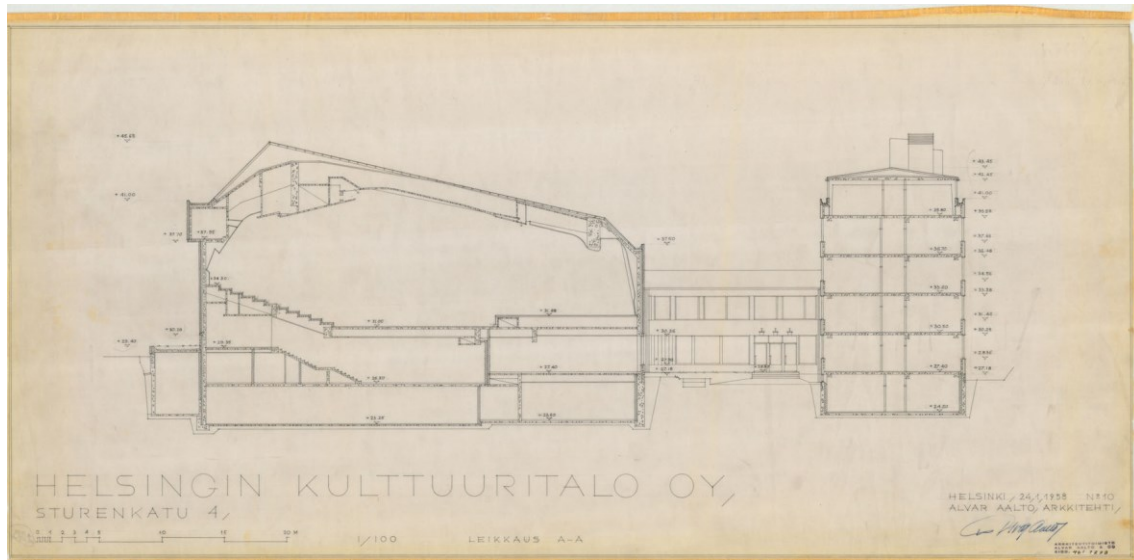


図73. 46/1298 A-A 断面図 (1/100 1766×870mm) (アルヴァ・アアルト財団所蔵)

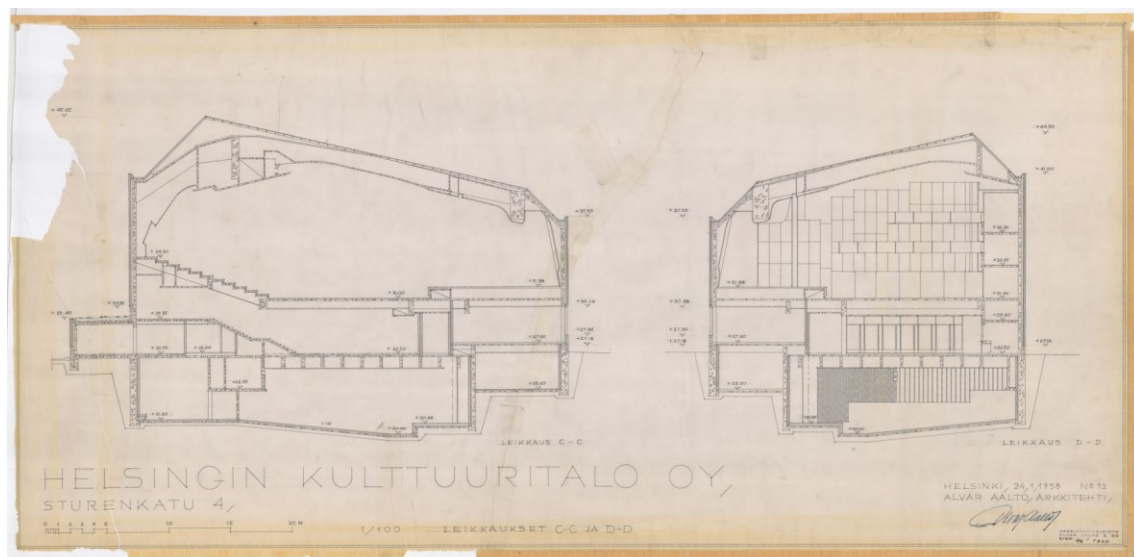


図74. 46/1300 C-C と D-D 断面図 (1/100 1800×883mm)
(アルヴァ・アアルト財団所蔵)

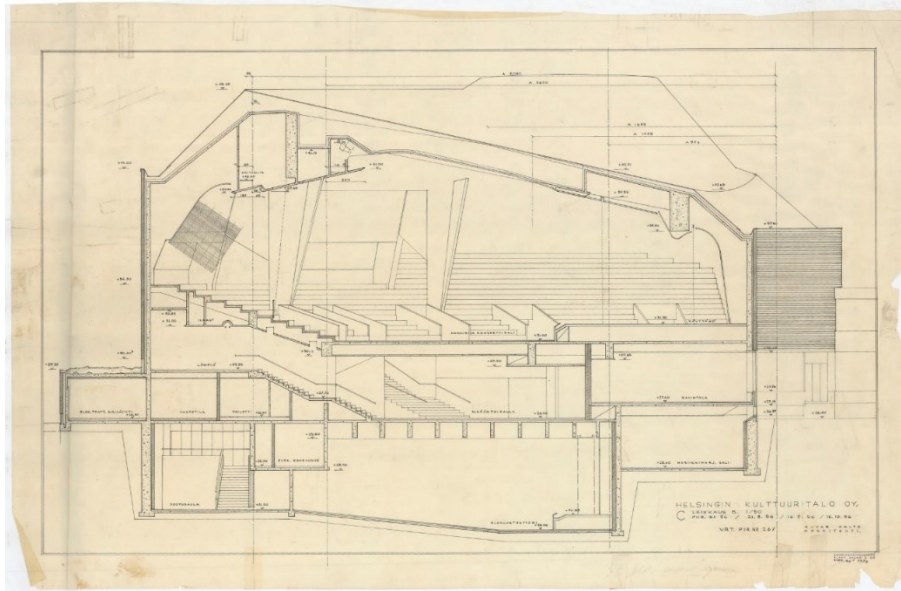


図75. 46/1352 断面図 (1/50 2064×1350mm)
(アルヴァ・アアルト財団所蔵)

そして、デトメローデの教会を境に傘のような反射板、つまり浮雲が天井から吊り下げられるようになる。天井反射板はフィンランディアホールでも設置されている。フィンランディアホールの設計過程における反射板については、第3章 2.3.1 フィンランディアホールにて詳細に分析している。図面 46/5241 から「liukuvat kattopinnat スライディング天井表面」の材質が「metallisäleikkö 金属カッター」、反射板の材質は「betoni heijastin コンクリート反射板」、2階席後方の上部の材質は「heijastava betonipinta 反射するコンクリート表面」であることがわかる。

また、フィンランディアホールでは、共鳴空間という付加ボリュームが客席上部にあり、アアルトは残響を延ばすために設計したが、実際には、音は共鳴空間に入ったのち帰ってこず、アアルトの狙い通りにはならなかった。

(2) 他作品比較

共鳴空間は上手くいけば効果的であり、ニュージーランドのクリストチャーチ市立ホールには天井反射板裏に空間を設け、残響を調整している。図 76 からわかるように上部空間は効果的で全体の容積は 20700 m³もあり、満席時で 2.3 秒という残響時間を提供している⁹⁴。アアルトはフィンランディアホールの図面 46/4942 において、客席部の容積は 14800 m³、共鳴空間の容積は 3600 m³と計算していた。クリストチャーチ市立ホールの断面図から推察すると、共鳴空間の座席部に対する比率はフィンランディアホールの方が小さいと判断できる。よって、共鳴空間をよりオープンな形で容積に参入できるように設計すると、より残響時間に寄与できたのではないかと考察する。また、内部空間の仕上げ材の情報が見つからなかったため、どれほどの吸音をしたのかは定かではないが、共鳴空間の設置は音響的に妥当な考えであったと考察する。

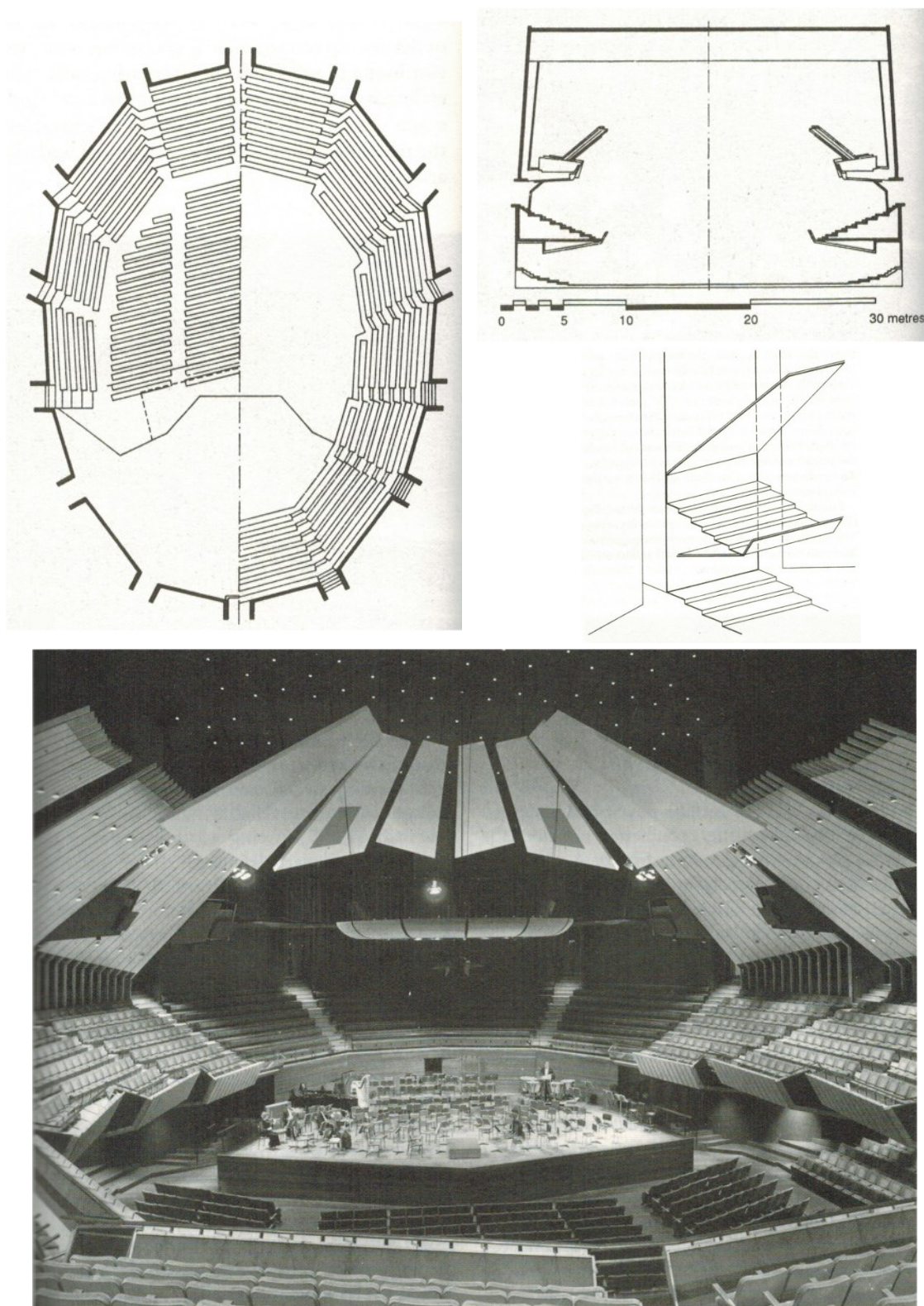


図76. クリストチャーチ市立ホール 平面図/断面図/座席部/内観¹¹⁷（トリミング済）

¹¹⁷ Micheal Barron, Auditorium Acoustics and Architectural Design, E & FN Spon, 1993, pp.101-103

3.5 分析結果

(1) 4 つの特徴の分析結果

以下、4 つ音響装置の分析結果をまとめた。

- 「ラメラ構造」は薄い板の間を音波が繰り返し反射することで吸音と拡散を狙った音響装置であり、アアルトによって 1928 年に発明されてから様々な建物で使用され、形を発展させてきた。材料は金属及び木材である。文化の家における木製のラメラ構造の吸音率は 0.31-0.64 であり、他のディフューザーと比較しても高めである。
- 「拡散体」は舞台後壁に設置された凹凸面であり、当初凹面であったが、時代が下るとともに波打つような表面で凸面が増え舞台側に約 10 度傾いている。拡散係数については今後の研究課題とする。
- 「平面非対称性」は平面形が中心軸で非対称性を持つことである。アアルトは 1951 年から非対称の平面を多数設計しているが、その意図については解明することはできなかった。この特性は現在、音響的に好ましいと考えられている。対称の平面形は、側壁からの反射が客席部中央に同時に到来し、干渉によるカラーレーションを引き起こすなど、反射音の時間特性に規則性などが現れやすく、音質の偏りなどに繋がる恐れがある。近年、ワインヤード型を採用するホールでは、平面形のみならず、座席区画のレベルも非対称性を持たせて、壁を設けることで、側方反射を増やす工夫につなげている。
- 「天井」は上に凸のヴォールトの連続から、平坦な凸面になり、断面が凸の浮雲が天井から吊り下げられるようになった。最終的にはフィンランディアホールで断面が凹の反射板の上に共鳴空間を設けるという変化を遂げた。これは、凸面から凹面への変化と天井一体型から浮雲への変化、そして共鳴空間の付加という 3 つの変化を並行して行われた軌跡である。また、共鳴空間を客席上部に設ける考えは妥当であるが、客席部に対する容積比および仕上げなどについては考察の余地がある。

(2) 残響時間の比較

ここで、文化の家のラメラ構造の吸音率からヴォクセンニスカの教会の残響時間を求め、1950年代と1960年代の研究対象の残響時間の評価をする。

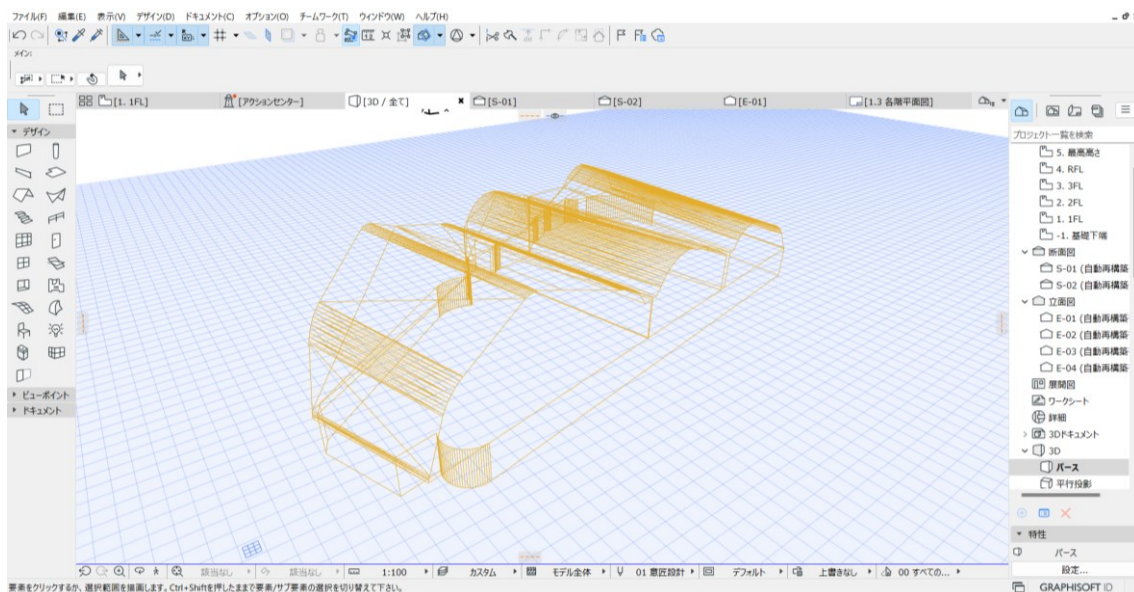


図77. Archicad26(Graphisoft 社)上に作成したヴォクセンニスカの教会の容積ゾーン

ヴォクセンニスカの教会の室容積や表面積についてのデータを見つけることができなかったため、Archicad26(Graphisoft 社)を利用し図面からヴォクセンニスカの教会を作成し、より正確な値を割り出した(図77及び78)。ただし、図77について余分な個所は差し引いているが、天井面やオルガンロフトなどの複雑な3次元曲面は概ねの形態を仮定して計測している。

その結果、容積は3770.23 m³、表面積は約2100 m²、座席数800となった。

このデータにより、残響時間をEyringの減衰式から導いた残響式(5)¹¹⁸を用いて空席時と満席時の残響時間を推定した。

$$T = \frac{KV}{-S \log_e(1-\bar{\alpha})} \quad (K \cong 0.162) \cdots (5)$$

$\bar{\alpha}$: 平均吸音率、S : 室表面積、V : 容積

¹¹⁸ 小島武男, 中村洋, 現代建築環境計画, オーム社, 1983, p.20

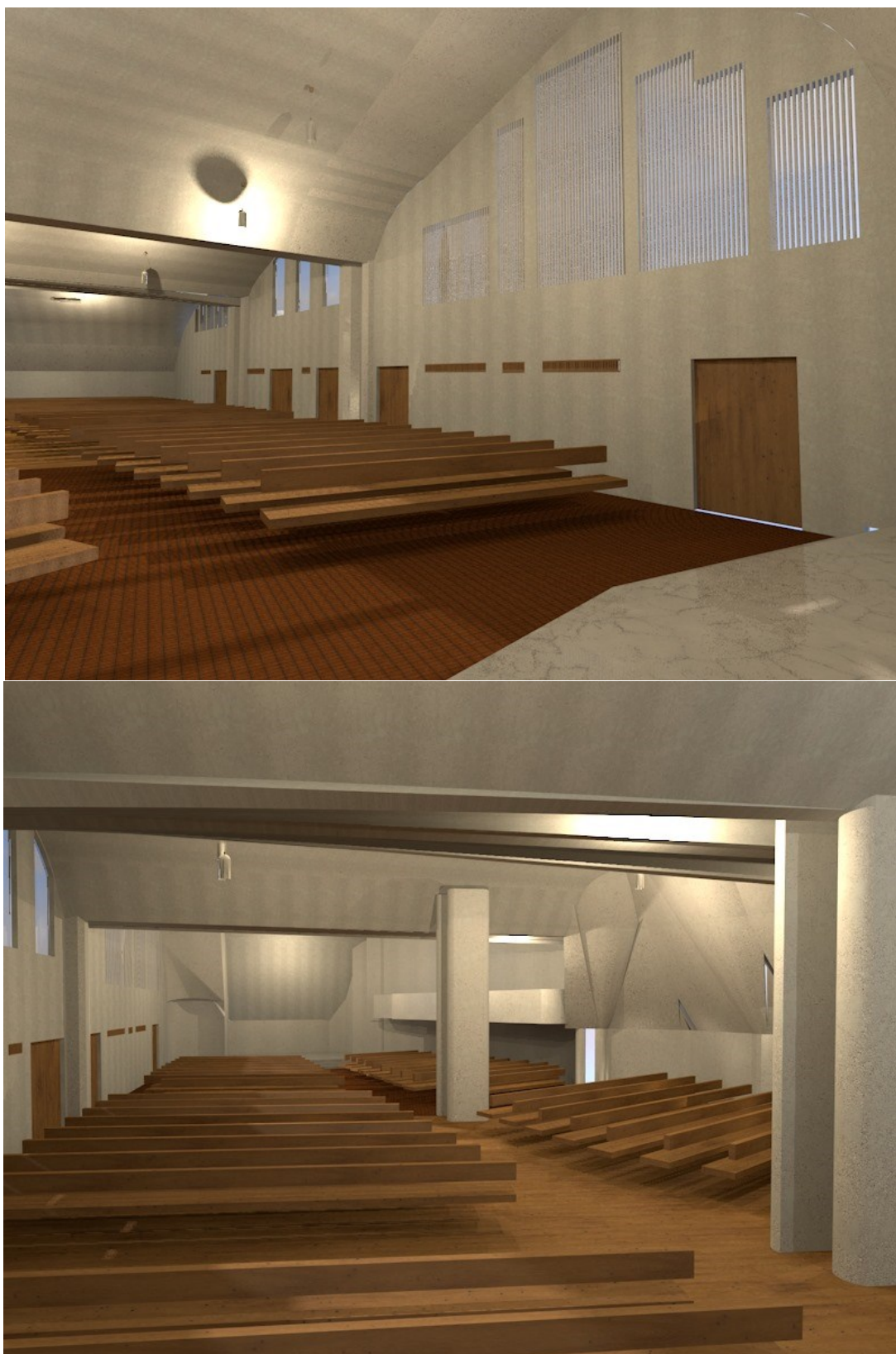


図78. Archicad26 (Graphisoft 社) 上に作成したヴォクセンニスカの教会の内観パース

空席時と満席時の吸音率と材質はそれぞれ表 12 と 13 に示した通りとなった。これから求めた吸音力は表 14 のとおりである。よって、ヴォクセンニスカの教会の残響時間は表 15 のようになる。

表 12 材質と吸音率（空席時）

吸音率	材質	表面積(m ²)	125	250	500	1K	2K	4K
壁・天井	プラスター	1320.9	0.12	0.09	0.07	0.05	0.05	0.05
床	大理石	47.9	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02
床	セラミックタイル	173.1	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02
床	フローリング	405.7	0.10	0.11	0.10	0.07	0.06	0.07
ドア	木	35.2	0.19	0.14	0.09	0.06	0.06	0.06
窓	ガラス	77.7	0.35	0.25	0.18	0.12	0.07	0.04
ラメラ		24.5	0.51	0.53	0.31	0.57	0.64	0.76
オルガン	開放型	1.0	41.00	26.00	19.00	15.00	11.00	11.00
座席（吸音力）	木製	800	0.02	0.02	0.02	0.04	0.04	0.03

表 13 材質と吸音率（満席時）

吸音率	材質	表面積(m ²)	125	250	500	1K	2K	4K
壁・天井	プラスター	1320.9	0.12	0.09	0.07	0.05	0.05	0.05
床	大理石	47.9	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02
床	セラミックタイル	173.1	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02
床	フローリング	405.7	0.10	0.11	0.10	0.07	0.06	0.07
ドア	木	35.2	0.19	0.14	0.09	0.06	0.06	0.06
窓	ガラス	77.7	0.35	0.25	0.18	0.12	0.07	0.04
ラメラ		24.5	0.51	0.53	0.31	0.57	0.64	0.76
オルガン	開放型	1.0	41.00	26.00	19.00	15.00	11.00	11.00
座席（吸音力）	木製	800	0.10	0.19	0.32	0.38	0.38	0.36

表 14 吸音力(m²)の合計

	周波数 (Hz)					
測定条件	125	250	500	1K	2K	4K
空席	304.59	245.15	194.93	170.82	160.99	157.73
満席	368.59	381.15	434.93	442.82	432.99	421.73

表 15 ヴォクセンニスカの教会の残響時間

	周波数(Hz)					
測定条件	125	250	500	1K	2K	4K
空席	1.84	2.33	2.97	3.41	3.62	3.70
満席	1.50	1.44	1.24	1.22	1.25	1.29

以上から、文化の家、ヴォクセンニスカの教会、フィンランディアホールの残響時間は表 16 のようになる。

表 16 研究対象の残響時間

名称	測定条件	周波数(Hz)					
		125	250	500	1K	2K	4K
文化の家	空席	—	1.6	1.6	1.6	—	—
	満席	1.2	1.25	1.1	1.0	0.9	0.9
ヴォクセンニスカの教会	空席	1.84	2.33	2.97	3.41	3.62	3.70
	満席	1.50	1.44	1.24	1.22	1.25	1.29
フィンランディアホール	空席	—	2.0	2.0	2.0	—	—

以下の図 79 は 500Hz における最適残響時間¹¹⁹にアアルトの建築物の残響時間を書き加えた図である。文化の家について、音楽をする場所として残響時間は比較的小さい。しかし、コンサートホールと講演会の両立を図っていることを加味すると、講演・会話が主な部屋の最適残響時間と近いということは妥当な残響時間であると考えられる。ヴォクセンニスカの教会はプロテスタント教会であるが、残響時間は短い方である。プロテスタントの教会は説法に重点を置いているため、カトリックのように残響時間を長くし、荘厳な空間を演出する必要はないと考えられる。それでも、最適残響時間より短いのは天井が低いことが原因の一つとして考えられる。フィンランディアホールはコンサートホールである。Knudsen-Harris の最適残響時間からは長いが、Bagenal-Wood の最適残響時間からは短い。アアルト自身が音響コンサルタントを務めたフィンランディアホールであるが、客席上部の共鳴空間が機能していればさらに長い残響時間が記録されていたと推測する。

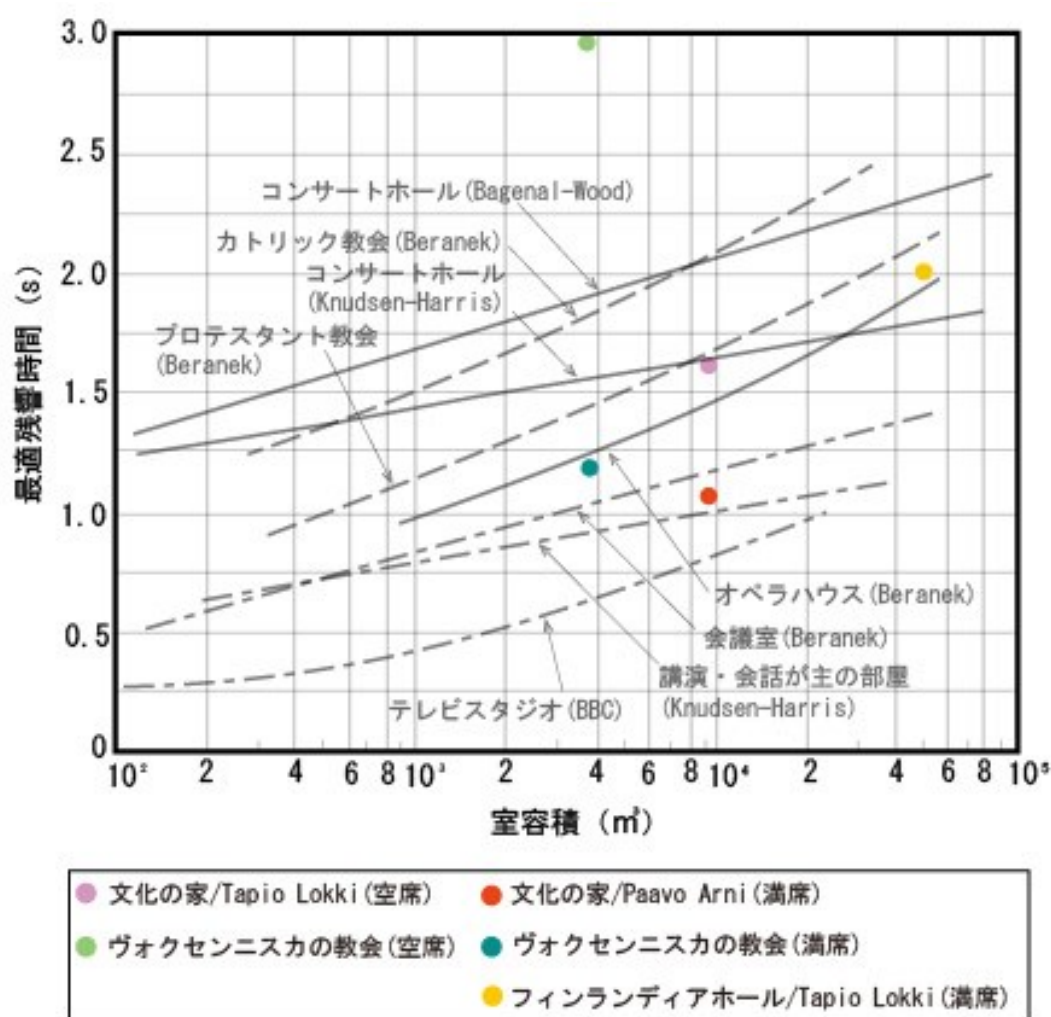


図79. 500Hz における最適残響時間と研究対象の比較

¹¹⁹ 参考：小島武男，中村洋，現代建築環境計画，オーム社，p.33, 1983

第 4 章 結論

以上 1930 年代から 1960 年代まで代表的な作品にしばり、その内部空間の音響的工夫の意図と成立そしてその効果についてスケッチ分析を交えながら観察した。

本稿の試みとして大きな目的は建築における意匠と音響の問題をアアルトがいかにして解決しようとしたかを解明することであった。アアルト自身、失敗や成功を重ね、その拮抗する問題に果敢に取り組んだことがうかがえた。特に彼の構想に多く見受けられたのは「均質な音響」である。アアルトはこの「均質な音響」を幾何音響的手法である音線と波面を用いて検討したと考えられる。ヴォクセンニスカの教会では幾何音響的手法のみで検討していることと、文化の家の天井を高くすることによって容積を増やし、残響時間を延ばしたことが音響コンサルタントのアルニの助言であったことから、建築の形態をあらかじめ幾何音響的手法で決定し、残響時間などの音響的指標はコンサルタントとともに考慮したのではないかと推察する。さらに、アアルトは「曲面」や「木製パネル」という意匠的特徴を「拡散」や「吸音」などといった音響効果を狙うための設計手法として確立しようとしたのではないかと考える。また、拡散の重要性、残響時間の確保等を、ラメラ構造や共鳴空間によって実現しようとした意図は、現代の建築音響学の観点からも十分な妥当性を持っていると考えられる。さらに初期の頃に見られた天井形態による反射音制御の試みは、後期作品における天井反射板（浮雲）へ発展する過程が見られ、アアルトが常に建築音響への関心を寄せて設計に取り組んでいたことが窺える。

以上のことから、アアルトは建築における音響という課題を真摯にとらえ、「均質な音響」を主題に、幾何音響的手法などを使い、音響効果を狙った様々な意匠的特徴を設計したと考察する。

参考文献

- 1) 松村真帆, 富岡義人, 田端千夏子, 寺島貴根, アルヴァ・アアルトの初期教会堂設計案の造形技法 設計スケッチを通じて観察した音響・採光・架構への関心, 2021 年度日本建築学会大会 (東海) 学術講演会(建築歴史・意匠), pp.233-234, 2021
- 2) 松村真帆, 富岡義人, 田端千夏子, アルヴァ・アアルトの初期教会堂の形態分析 架構の解釈を伴った楔形内部空間の成立, 2020
- 3) 安東美穂子: Alvar Aalto's Way to Design : Interaction Between Furniture and Architecture, 京都大学学術情報リポジトリ (博士学位論文) , 2019
- 4) Jukka Pätynen, Sakari Tervo, and Tapio Lokki, Analysis of concert hall acoustics via visualizations of time-frequency and spatiotemporal responses, 2013 Acoustical Society of America 133(2), pp.842-857, February 2013
- 5) Nico F. Declercq, Katrien Dewijngaert, Katelijne Vanderhaeghe, Patricia Verleysen, An Acoustic Diffraction Study of a Specifically Designed Auditorium Having a Corrugated Ceiling: Alvar Aalto's Lecture Room, ACTA ACUSTICA UNITED WITH ACUSTICA, vol. 97, pp.599-606, 2011
- 6) Bow-Hong Yeh, Rong-Ping Lai, and Fang-Ming Lin, Effects of Wooden Multifunctional Diffusers on Sound Field in the Listening Room, inter-noise 2011 Osaka Japan September 4-7, pp.1-7, 2011
- 7) Jorma Parviainen, Paavalinkirkko : Stadin helmi : 80, 1931-2011, Paavalin seurakunta, 2011
- 8) Mike Barron, Then and now – how concert hall design of the 1960s and '70s compares with the present, NAG/DAGA 2009 International Conference on Acoustics, Rotterdam, Netherlands, pp. 4-9, 2009/03/23- 2009/03/26
- 9) 尾本章, 「簡単な」幾何音響理論, 日本音響学会誌 62 巻 10 号, pp.738-743, 2006
- 10) Marja Terttu Knapas, Soile Tirilä, SUOMALAISTA KIRKKOARKKITEHTUURIA 1917-1970, Museovirasto, 139p, 2006

- 11) 安藤美月, 古屋浩, 非対称ホール空間の音場特性に関する検討 (その 2) 音響模型実験による考察, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.147-148, 2005
- 12) 安藤美月, 古屋浩, 非対称ホール空間の音場特性に関する検討, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.67-68, 2004
- 13) Peter Blundell Jones, Jian Kang, Acoustic form in the Modern Movement, Cambridge University Press, 02 September 2003
- 14) Kang, J. , Acoustics of Long Spaces: theory and design guidance, Thomas Telford, London.2002
- 15) 橘秀樹, コンサートホールの形と音, 生産研究, 55(5), 2003.9, pp25-34
- 16) DONNA COHEN, Other Waves: The Acoustics of Alvar Aalto, 85th ACSA ANNUAL MEETING AND TECHNOLOGY CONFERENCE, 2000
- 17) Peter Reed, Alvar Aalto : between humanism and materialism, New York : Distributed by Harry N. Abrams, c1998
- 18) Harry Charrington, HOUSE OF CULTURE HELSINKI ALVAR AALTO KULTTUURITALO, The Finnish Building Centre/Rakenustieto Oy, 1998
- 19) Richard Weston, Alvar Aalto, Phaidon Press, 1997
- 20) Alvar Aalto, Göran Schildt: THE ARCHITECTURAL DRAWINGS of Alvar Aalto 1917-1939, Vol.1・3・4・5・6, Garland Pub., 1994
- 21) Micheal Barron, Auditorium Acoustics and Architectural Design, E & FN Spon, 1993
- 22) Paul David Pearson, Alvar Aalto and the international style, London : Mitchell, 1989
- 23) Eduardo Zarate, The Religious Architecture of Alvar Aalto, McGill University, July 1988

- 24) Göran Schildt, Alvar Aalto The Decisive Years, RIZZOLINTERNATIONAL PUBLICATIONS, INC. , pp.199-200, 1986
- 25) 小島武男, 中村洋, 現代建築環境計画, オーム社, 1983
- 26) 村井信義、Pierre Perdigon、平澤佳男, パイプオルガンと演奏ホール, 日本音響学会誌, 39(6), pp.414-423, 1983
- 27) カール・フライク編; 武藤章訳, アルヴァ・アアルト作品集 第1巻・第2巻・第3巻, A. D. A. EDITA Tokyo Co., Ltd., 1979 年 8 月 7 日
- 28) Text of the Oxford Illustrated Dictionary edited by J. Coulson, C. T. Carr, Lucy Hutchinson and Dorothy Eagle; illustrations edited by Helen Mary Petter. Second edition revised by Dorothy Eagle with the assistance of Joyce Hawkins., THE NEW OXFORD ILLUSTRATED DICTIONARY, Oxford University Press, 1978
- 29) Leo Leroy Beranek, 寺崎恒正, 長友宗重, 音楽と音響と建築, 東京: 鹿島研究所出版会, 1972.1
- 30) 日本建築学会音響設計, 日本建築学会設計計画パンフレット, 彰国社, 1965
- 31) Eglise a Imatra; "L' Architecture d' aujourd' hui" No.93, Boulogne, France : Jean-Michel Place., [1930]- , pp.10-13, December 1960
- 32) 佐藤武夫, オーディトリウムの音響的設計に就て, 建築雑誌, 520, pp.353-372, 1929.4
- 33) Finnish Association of Architects SAFA, Arkkitehti, 1929.2.1 pp25-30
- 34) Alvar Aalto, Poul Henningsen, Rationel biograf; "Kritisk Revy", pp.66-70, October, 1, 1928
- 35) SOCIETY of GENTLEMEN in SCOTLAND., Encyclopædia Britannica, or, A dictionary of arts and sciences, compiled upon a new plan : in which the different sciences and arts are digested into distinct treatises or systems, and the various technical terms, &c. are explained as they occur in the order of the alphabet,

Edinburgh : Printed for A. Bell and C. Macfarquhar, and sold by Colin Macfarquhar,
1771

ウェブサイト

- 『Helsingin seurakuntayhtymä, Mikael Agricolan kirkko - helsinginseurakunnat.fi』
<https://www.helsinginseurakunnat.fi/mikaelagricolankirkko/artikkelit/08ce9pkid>,
2020/12/14(アクセス日時)
- 『Temppeliaukion kirkko - Temppeliaukio | Timo Suomalainen』
<http://www.temppeliaukio.fi/artikkeli1.htm>, 2020/12/31 (アクセス日時)
- 『Alvar Aalto Library - Alvar Aalto Foundation』
<https://www.alvaraalto.fi/en/architecture/alvar-aalto-library/> (2022/12/30 アクセス)
- 『House of Culture - Alvar Aalto Foundation』
<https://www.alvaraalto.fi/en/architecture/house-of-culture/> (2022/12/30 アクセス)
- 『Church of the Three Crosses (Vuoksenniska church) - Alvar Aalto Foundation』
Church of the Three Crosses (Vuoksenniska church) - Alvar Aalto Foundation | Alvar Aalto -säätö (2022/12/31 アクセス)
- 『フィンランディアホール - Visit Alvar Aalto』
<https://visit.alvaraalto.fi/jp> (2023/1/4 アクセス)
- Göran Schildt, Ph D, ALVAR AALTO&FINLANDIA HALL フィンランディアホール
公式パンフレット <https://www.finlandiatalo.fi/en/architecture-and-history/alvar-aalto/> (2023/01/26 アクセス)
- Google Earth
<https://www.google.com/maps/@60.1882132,24.944175,2a,70.7y,122.62h,89.48t/data=!3m6!1e1!3m4!1s5q1WLJnB2rC07EVGWyLbZg!2e0!7i13312!8i6656>(2022/12/31 アクセス)
- 『Alvar Aalto Foundation』 <https://www.alvaraalto.fi/en/>(2023/01/25 アクセス)

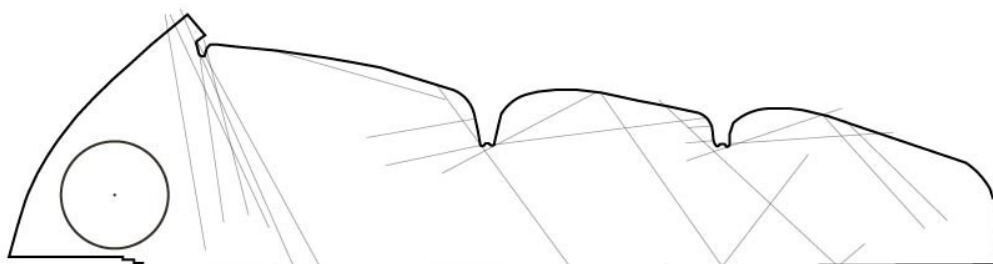
参考資料

ここでは、本稿の図を作図する際により詳細に分析した図を掲載する。

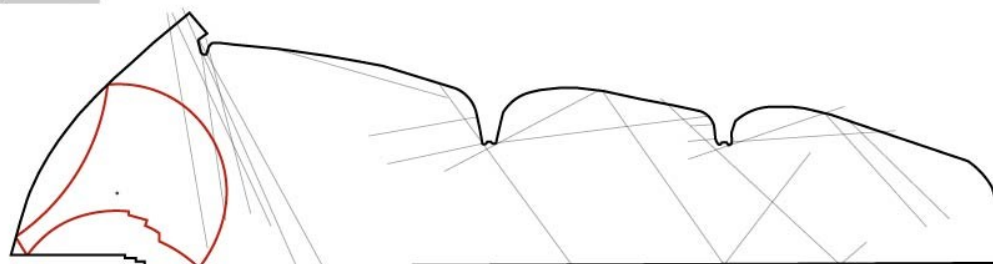
(1) ヴォクセンニスカの教会

まず、ヴォクセンニスカの教会の図面である 20/951(図 51)の図面の波面を 1/150s おき
に場合分けした図を各々分解し拡大した図を列挙する。

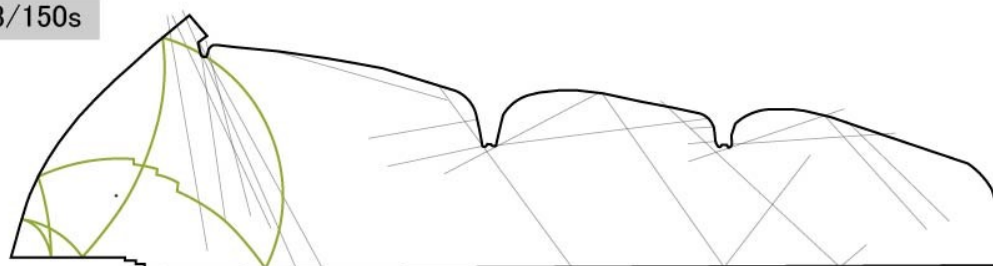
$1/150s=0.00667s \rightarrow 2.26m$



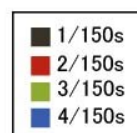
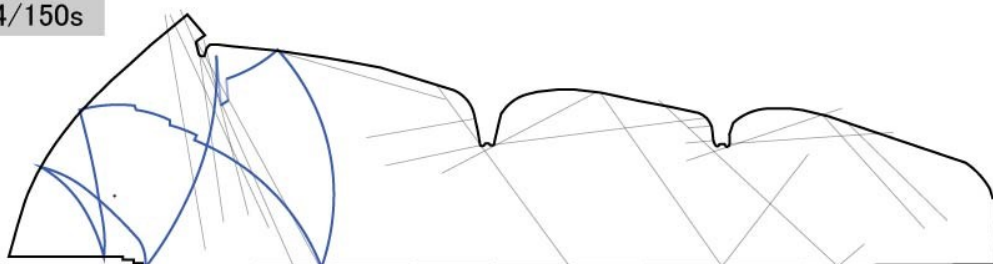
$2/150s$



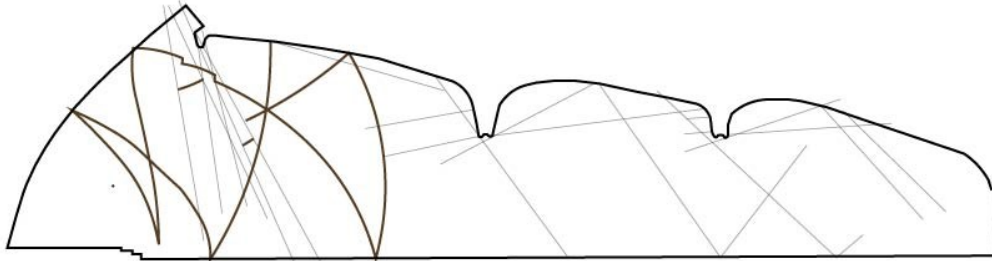
$3/150s$



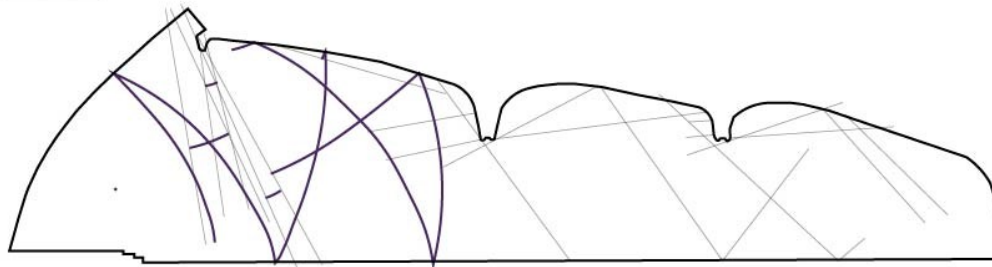
$4/150s$



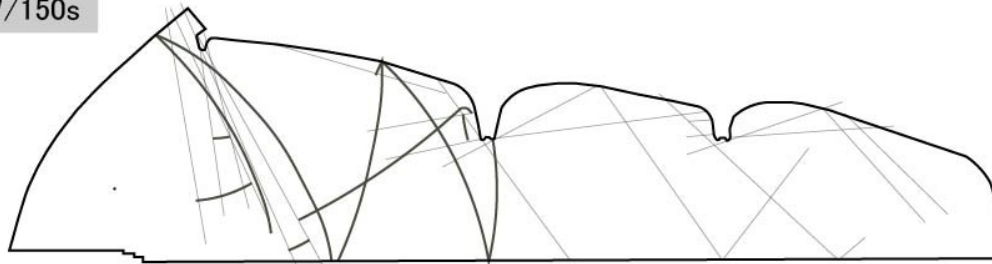
5/150s



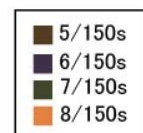
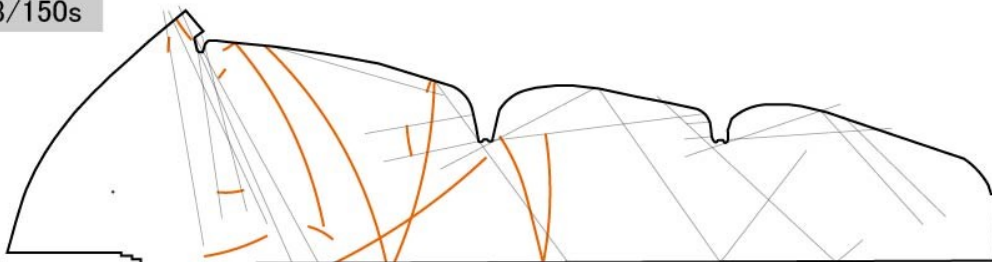
6/150s



7/150s



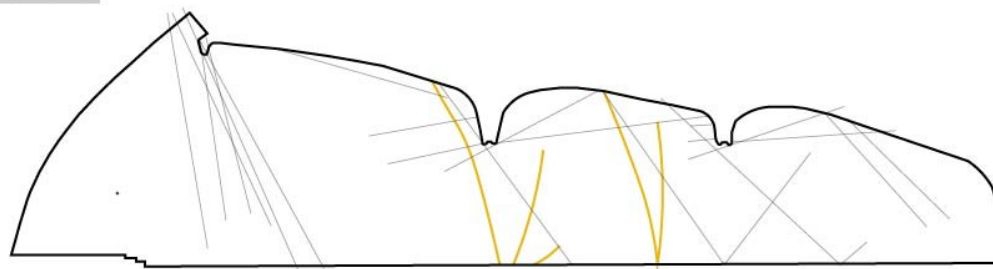
8/150s



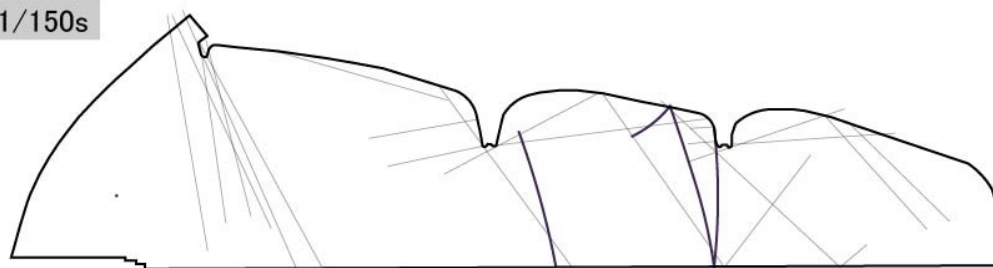
9/150s



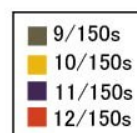
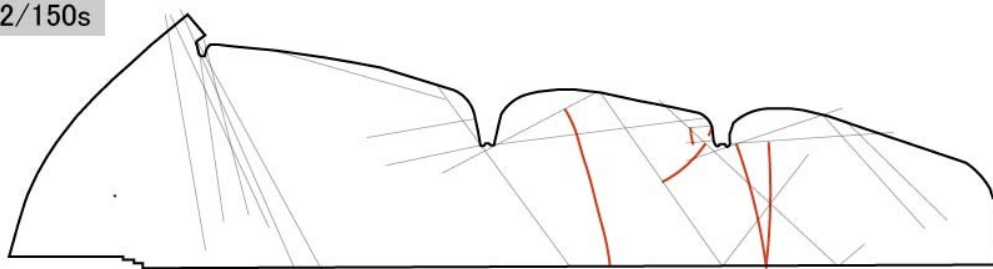
10/150s



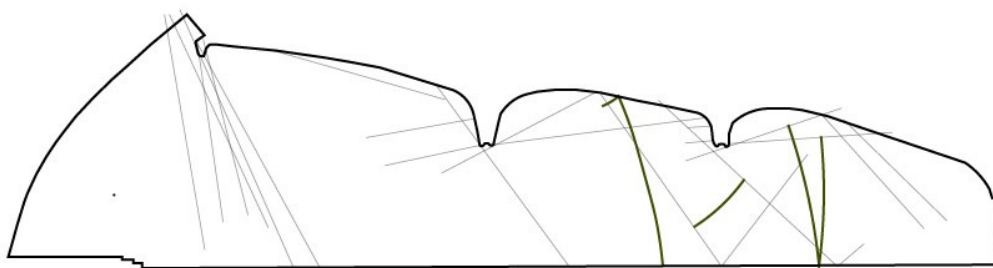
11/150s



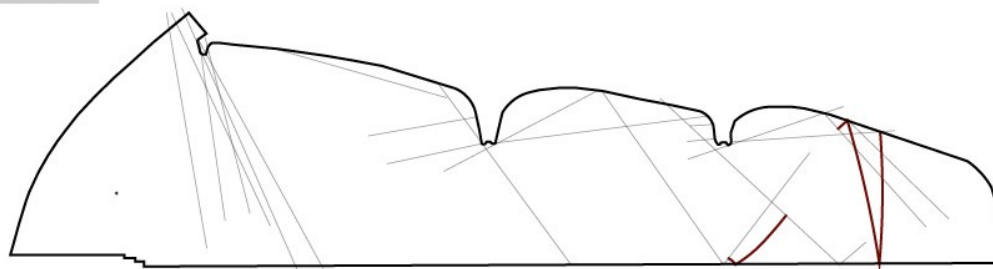
12/150s



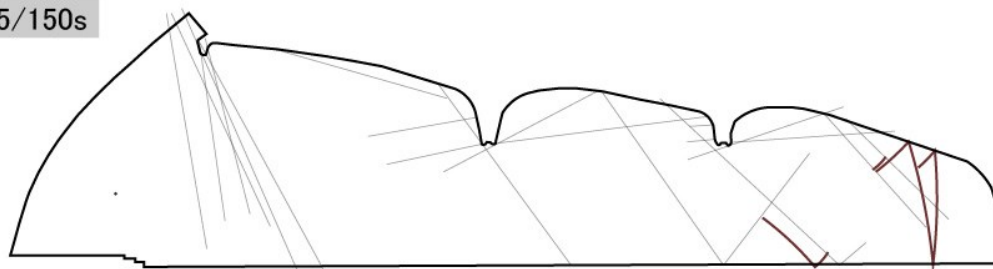
13/150s



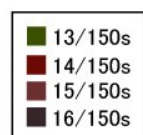
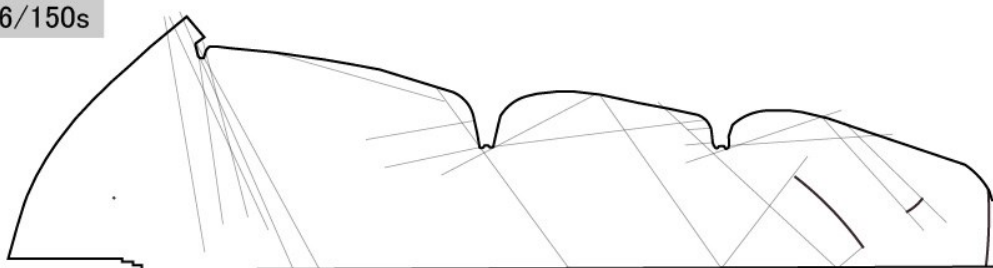
14/150s



15/150s

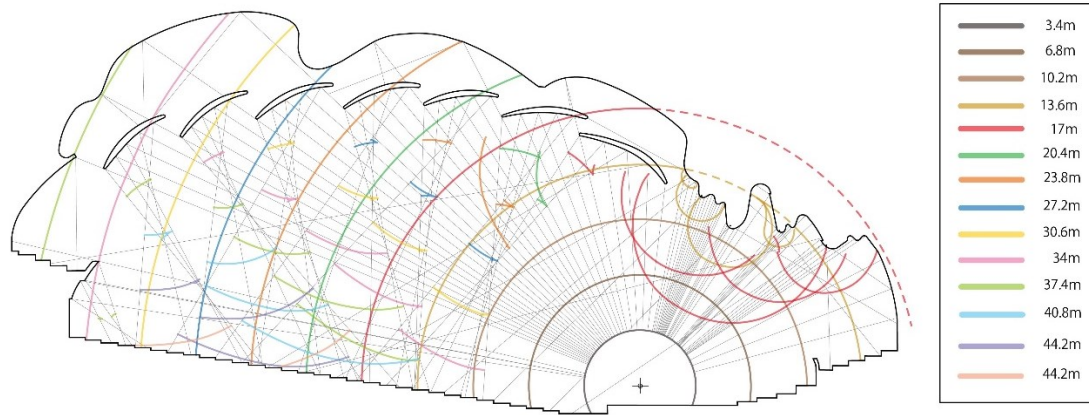


16/150s

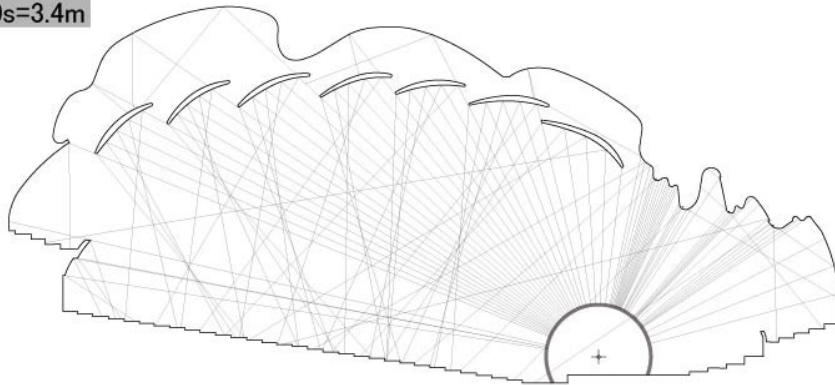


(2) フィンランディアホール

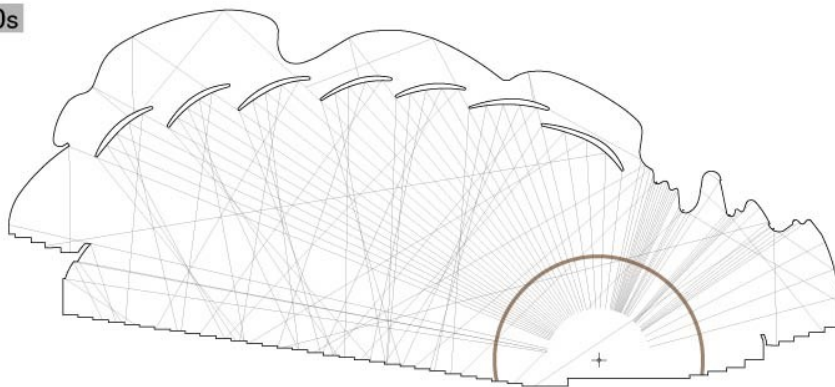
フィンランディアホールの図面 46/4720 の分析図を列挙する。まず、波面に彩色を施したもの。そして、波面を 1/100 s (=3.4m) 毎に分解した図を列挙する。



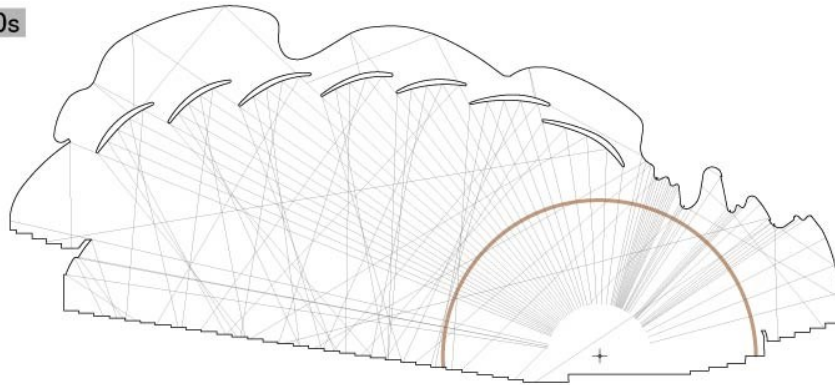
1/100s=3.4m



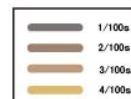
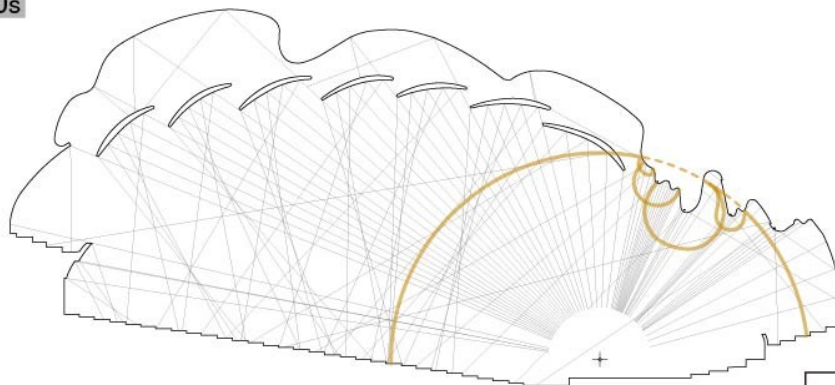
2/100s



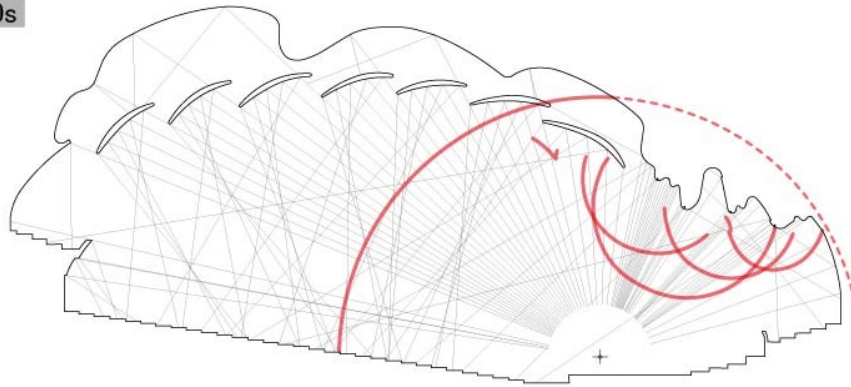
3/100s



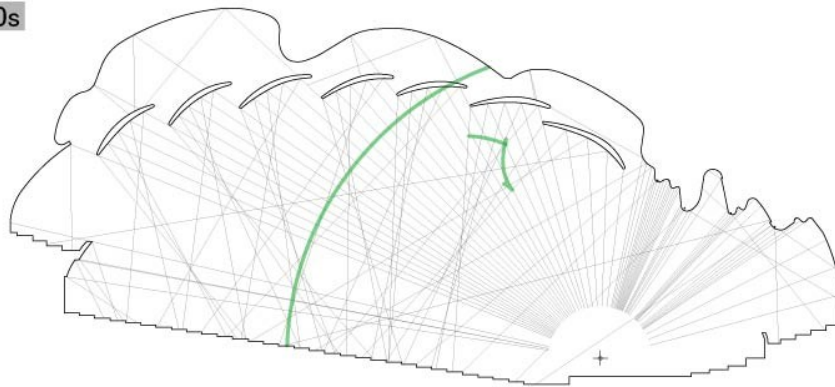
4/100s



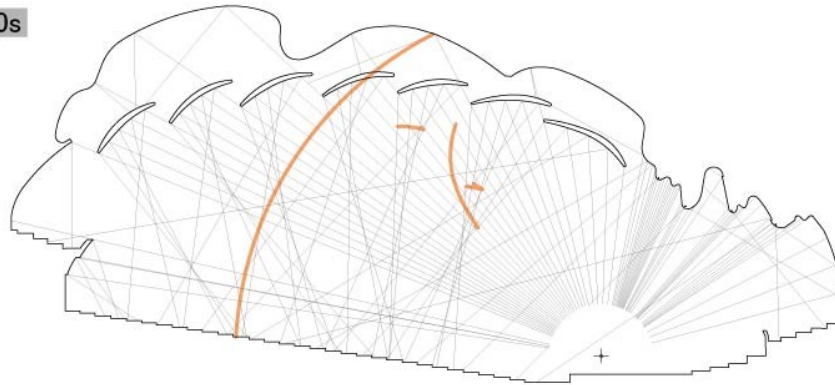
5/100s



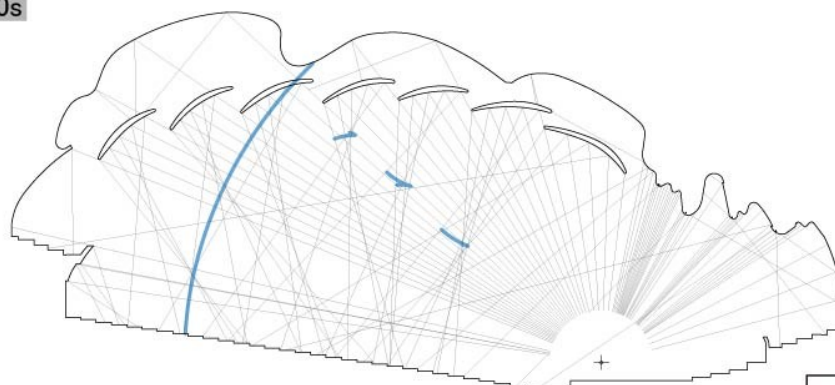
6/100s



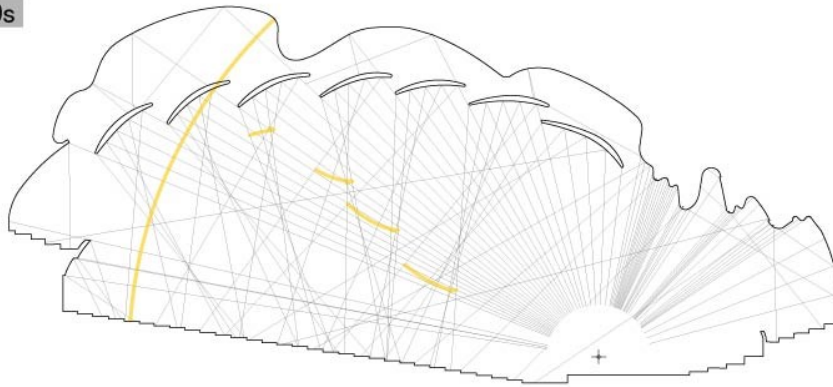
7/100s



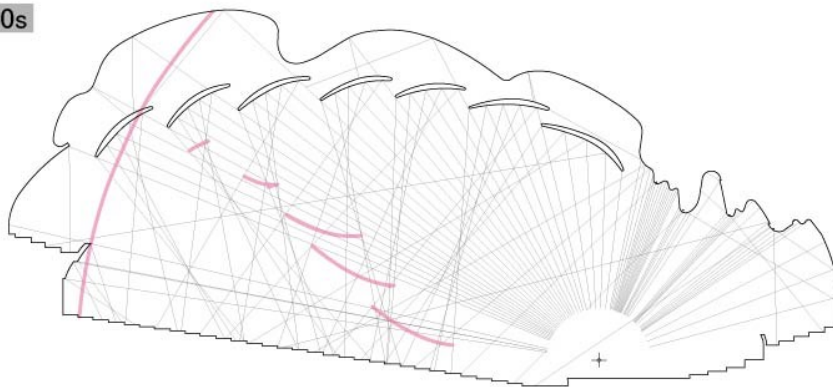
8/100s



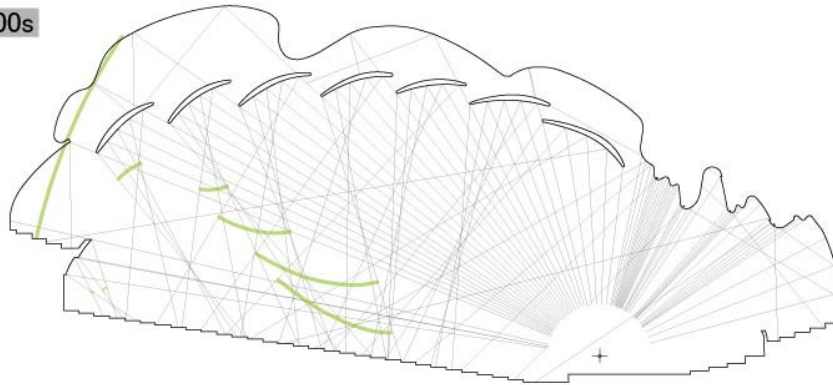
9/100s



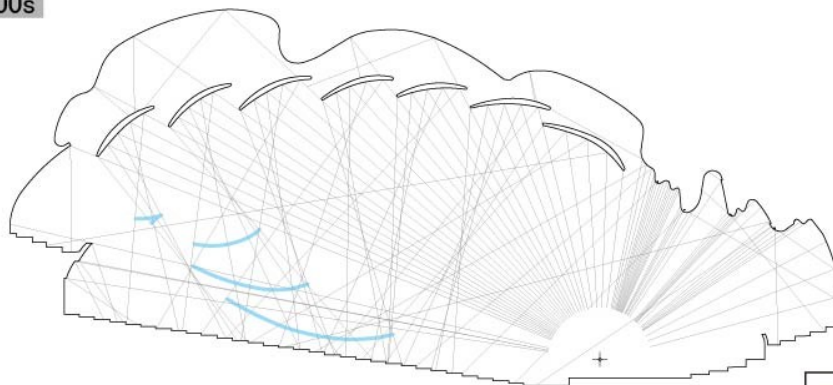
10/100s



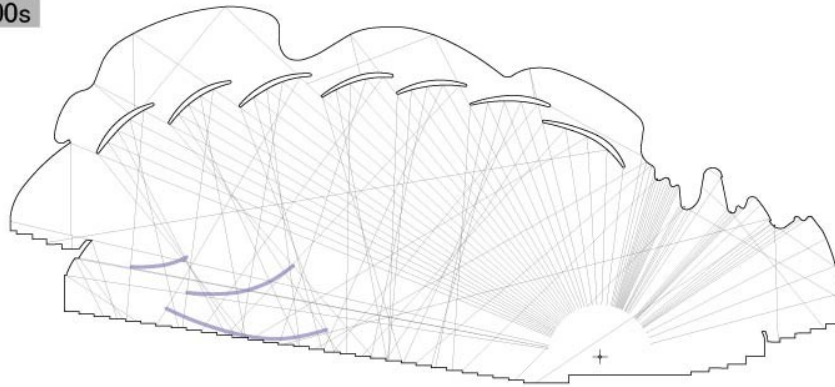
11/100s



12/100s



13/100s



14/100s

