反復と非反復の美術館

反復＝建築形態の規則性

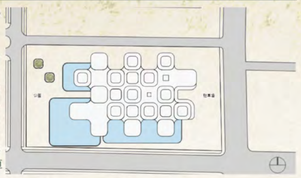
非反復＝①建築機能 +②環境のムラ

■1.Introduction

この作品は元々、明治大学建築学科３年次に行われた建築設計の講義を通して、「反復」をテーマに美術館を設計したものである。

タイトルは「反復と光の美術館」で、設計の趣旨としては、「反復」という手法を利用し均質な空間を創出するのではなく、展示室とそれ以外の空間の奥行きによって、様々な空間体験をさせるというものである。展示室内は右下のように、４種類の光の取り入れ方を採用している。

今回、この作品を建築環境デザイン研究室の学部生５名で、**風、光、温熱環境**などの側面から見直しをし、再設計を行った。



当初の配置図 S=1:3000

展示室を棟別に並べる　隣接室を交互に小さくして、余白を作る　展示室の角を丸めて、余白を奥行き感を感じる空間にする

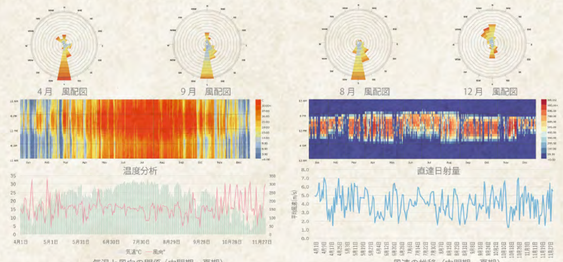
採光方法１　採光方法２　採光方法３　採光方法４

■3.Weather Analysis

敷地はアメリカ合衆国テキサス州のフォートワースである。この地の気候は、日本と比較すると、暑い時期が長く６月初めから９月中旬まで最高気温が 30 度を超える。冬は若干フォートワースの方が暖かい。また、降水量は東京の約半分ほどで、夏期は蒸し暑さを東京ほど感じない。

フォートワースの平均降水量

フォートワースの風は比較的強い。中間期と夏期において、昼間の平均風速が 4m/s、最大風速は 7.1m/s、最小風速は 1.3m/s で、卓越風に関しては冬期が北風、夏期や中間期は南風となっている。また一年を通して日射量が多く、敷地の日当たりもよいため自然光を最大限活用できる。



4月　風配図　9月　風配図　8月　風配図　12月　風配図　温度分析　直達日射量

気温と風向の関係（中間期・夏期）　風速の推移（中間期・夏期）

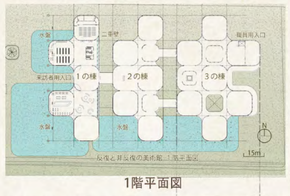
■2.Concept ① ～分棟による省エネ～

【１の棟】中間期の自然換気

中間期に自然換気をすることで、省エネを図る。風力換気だけでは奥の室内が換気されないため、重力換気も採用した。

【３の棟】安定

空調によって年中安定した環境を作る。展示室は落ち着いた空間にする。



1階平面図

【２の棟】環境に適応する

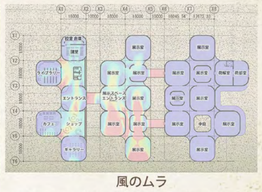
年中空調を利用しないようにする。快適な空間を確保するため、ファサードを季節によって人の衣服のように変化させた。

また、特に夏期の暑さが厳しいため、なるべく涼しくなるような工夫を施した。

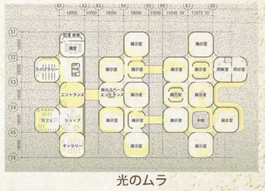
地下平面図

Concept ② ～変化を楽しむ～

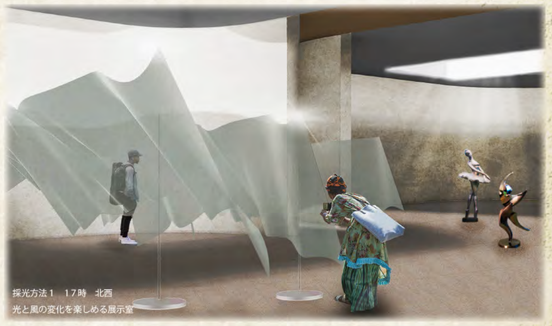
場所や時間によって変化する風・光環境を来館者が楽しめるように工夫した。建築形態は反復しているが、居心地は反復させない。また、風と光の変化を楽しめるような展示物を選定した。



風のムラ



光のムラ



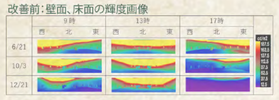
採光方法１　17時　北西
光と風の変化を楽しめる展示室

■4.Light Analysis

ⅰ）採光方法１

天井高:7m　天板高:5m

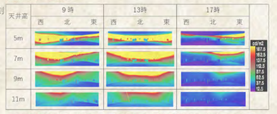
改善前：壁面、床面の輝度画像



グレア解析

グレア解析時刻 10/3 13:00　天井高:7m　天板高:5m　DGP:0.20

天井高の変更

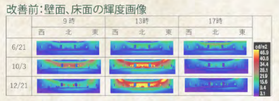


動的、時間的変化が生じ、季節や時間帯、場所により展示空間が変化する。一年中来館者を楽しませる。
グレアは展示空間には発生せず、快適に鑑賞することができる。また、天井高を変化させることで展示室ごとに少しずつ違う光環境を楽しめる。

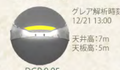
ⅱ）採光方法２

天井高:7m　天板高:5m

改善前：壁面、床面の輝度画像

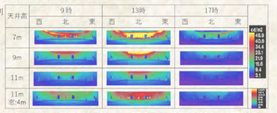


グレア解析



グレア解析時刻 12/21 13:00　天井高:7m　天板高:5m　DGP:0.05

天井高、開口部の変更

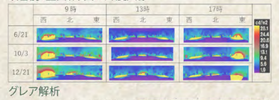


空間全体を柔らかい間接光が包み、展示物を均一に照らす。採光方法１と同様にグレアは展示空間には発生せず、快適に鑑賞することができ、天井高を変化させることで、展示室ごとに少しずつ違う光環境を楽しめる。

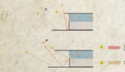
ⅲ）採光方法３

天井高：7m　開口部高さ：0.6m

改善前：壁面、床面の輝度画像



改善方法



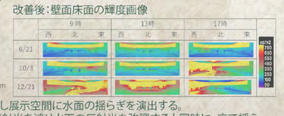
水面で反射する光を邪魔しない程度に直射光を遮る庇を設ける

グレア解析

グレア解析時刻 12/21 9:00　天井高:5m　開口部高さ:2.5m　DGP:0.44

改善後：壁面床面の輝度画像

天井高：5m　開口部高さ：2.5m

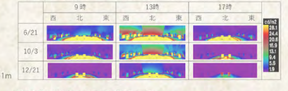


水盤の水の反射を利用し展示空間に水面の揺らぎを演出する。
庇を設けることにより直射光を遮り水面の反射光を強調すると同時に、底で揺らぐ水面の光により外部の人の興味を引く。また、グレアの抑制にも役立つ。

ⅳ）採光方法４

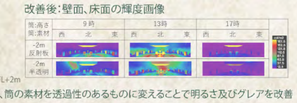
天井高：5m　筒の高さ：FL+1m

改善前：壁面、床面の輝度画像



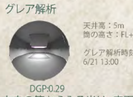
天井高：5m　筒の高さ：FL+2m

改善後：壁面、床面の輝度画像



中央の筒の高さを高く、筒の素材を透過性のあるものに変えることで明るさ及びグレアを改善

グレア解析



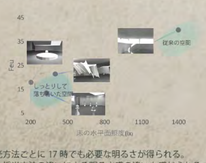
DGP:0.29

天井高：5m
筒の高さ：FL+2m
グレア解析時刻 6/21 13:00

中央の筒から入る光は、床面にある水面で反射し、展示空間全体を照らす。
移動することにより展示物と共にキラキラと輝く水面を楽しむことができ、動的変化を楽しめる。

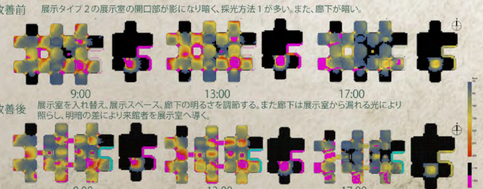
2）各展示タイプの明るさ感

17 時における Feu に基づく明るさ感と水平照度の関係



採光方法ごとに 17 時でも必要な明るさが得られる。
また採光方法の違いによる明るさ感の違いも感じられる。

3）照度分布図



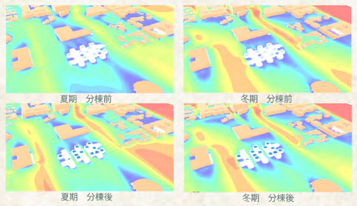
改善前　展示タイプ２の展示室の開口部が影になり暗く、採光方法１が多い、また、廊下が暗い。

9:00　13:00　17:00

改善後　展示室を入れ替え、展示スペース、廊下の明るさを調節する。また廊下は展示室から漏れる光により照らし、明暗の差により来館者を展示室へ導く。

9:00　13:00　17:00

1）敷地環境に応じた建物再配置―恵まれた立地を最大限に活かす



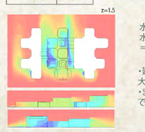
夏期　分棟前　冬期　分棟前　夏期　分棟後　冬期　分棟後

南方向に風を遮蔽する建築物がないため、３つの棟に分けた際、夏期と中間期において風が棟の棟の間に流れるようになり、風の道が形成された。冬期においては、寒冷な強い北風が北面の建物によって遮られる。

5）水盤の空気冷却効果の検証―当初のコンセプトの活用

水盤が空気の顕熱を奪い、
風が涼しい空気を建築内へと運ぶ。

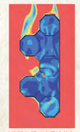
水面温度	28℃
外気温度	32℃
相対湿度	60%
風速	3.5m/s
風向	南



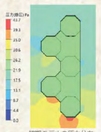
水面の蒸発量 (kg/h)＝(25＋19ｖ)×(Xw－Xa)×A
水蒸気発生量 (ppm)÷1000÷1000×580.2÷0.24
＝温度低下量(℃)

・建物内の空気温度は約2℃低下し、位置によっては最大で3℃ほど低下する。
・また、水面が視覚的に涼しさを感じさせる効果も期待できる。

2）１の棟の風環境再検討―自然換気の導入



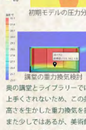
初期モデルの風速分布



初期モデルの圧力分布

配置変更前

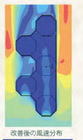
まず風力換気のために南側に開口を開けてしまうと、ライブラリーに自然風が入り、書物などを劣化させる可能性がある。一方、ギャラリーは時期によって展示物を入れ替えるため、ライブラリーとギャラリーを入れ替える案を提案する。また、カフェ内の配置もアイランド型にすることで、風力換気できるようにする。



展示室の最小開口部

配置変更後

最終的に風力換気と重力換気のどちらも採用することで、建物全体の換気回数も大きくなった。講堂とライブラリーに関しては、重力換気を取り入れたことで換気回数を確保した。解析は開口部を開口率 100％で行ったため、現実で機能させた場合、得られる結果の数値はかなり下がると考えられるが、換気回数に関しては十分と捉える。



改善後の風速分布

改善後の室ごとの換気回数

3）二重壁の効果検証―風の通り道の活用

分棟後、棟と棟の間に風の通り道ができるため、この風を最大限利用できる二重壁を１の棟の東面に設ける。

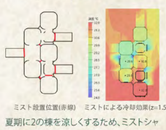
中間期において、二重壁内の上昇気流が空気を循環させ、建築内の自然換気を促進する。

夏期において、室内と換気スペースは別々であり、風の道の強い風が壁を冷やし、放射熱を軽減する。

（風速1m/s・風向南）　二重壁を設ける前　二重壁を設ける後

通路の換気回数が大幅に増えて、平均換気回数も増えた。

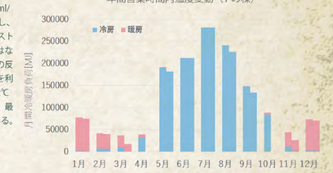
4）ミスト



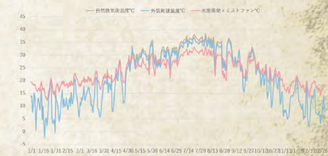
ミスト放置位置(赤線)　ミストによる冷却効果(±1.5)

夏期に2の棟を涼しくするため、ミストシャワーを設置する。1つのボールに30cm間隔でノズルを設置、それぞれ噴霧量を50ml/minとする。設置高さは地上から4mとし、水を押し出す穴を14ミリとすると、ミストはすぐに蒸発し、来館者が濡れることはない。一番南の展示室は、水面による光の反射を利用する設計であるため、ミストを利用しないようにした。結果として、約2℃の冷却効果が見込めることがわかった。最大でも3℃ほどの下がっている位置もある。

年間営業時間内温度変動（1の棟）



月別冷暖房負荷の改善前と改善後の比較（1の棟）



年間営業時間内温度変動（2の棟）

6）２の棟の風環境再検討―風のムラがある反復しない環境を作る

初期モデルは自然換気を想定していないため、風の通り道がない。

1と2の南面に地窓を設け、水面により冷却された空気を導入。

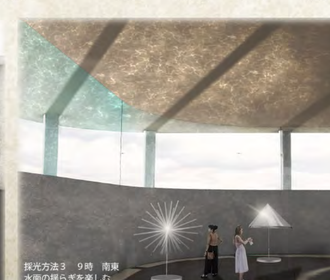
部分的に展示室の壁を取り除き、奥まで風を届かせるようにした。また、風のムラが生まれることがわる。

中庭を室住域の風をブロックしないパス３の採光方法４に変更し、来館者はエントランスに入ったすぐに涼しい自然風を感じられるようになった。

2の棟の風向変動性

開口部の設置上の問題で、廊下の風速が強くなったが、展示に入れる風が限られる。

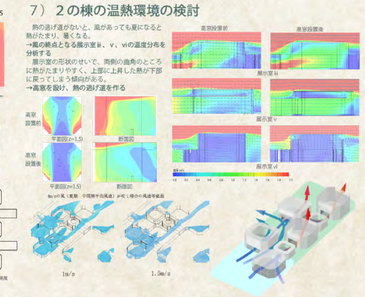
エントランスの存在が風をブロックしており、奥まで風を届かせることができない。



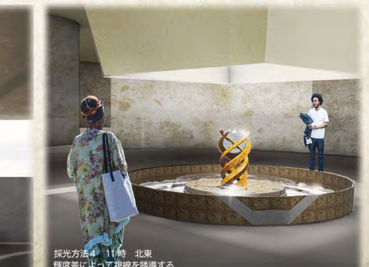
壁、開口の大きさなどの細部の条件を取り入れ、開口部を最終的に調整し、理想的な風の流れを作ることができた。

冬期の寒い北風を制御するために、開口が開閉可能な窓り扉下を作り、夏期は開放し、冬期は閉じて調節する。

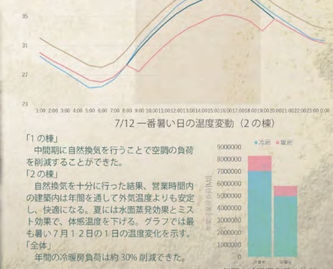
7）２の棟の温熱環境の検討



熱の逃げ道がないと、風があっても夏になると熱がたまり、暑くなる。
→風の最も大きな風向速 v、v、vの温度分布を分析する。
展示室の形状のせいで、両側の曲角のところに熱がたまりやすく、上部に上昇した熱の下部に戻ってしまう傾向がある。
→高窓を設け、熱の逃げ道を作る



1m/s　1.5m/s



採光方法1　9時　南東
水面の揺らぎを演出

採光方法1　11時　北西
光の場所・時間的変化を楽しむ

採光方法2　17時　南西
均質的で安定した光

採光方法3　9時　南東
水面の揺らぎを楽しむ

採光方法4　11時　北東
輝度差によって視線を誘導する

7/12 一番暑い日の湿度変動（2の棟）

「1 の棟」
中間期に自然換気を行うことで空調の負荷を削減することができた。
「2 の棟」
自然換気を十分に行った結果、営業時間内の建築内は年間を通して外気温度よりも安定し、快適になる。夏には水面蒸発効果とミスト効果で、体感温度を下げる。グラフでは最も暑い７月１２日の１日の温度変化を示す。
「全体」
年間の冷暖房負荷は約 30％削減できた。

年間の冷暖房負荷の比較