

機関番号 : 13904

研究種目 : 基盤研究 (B)

研究期間 : 2008~2010

課題番号 : 20404016

研究課題名 (和文)

ヴェネズエラの近代・現代建築における自然換気・冷却・保温・採光のシステムと思想

研究課題名 (英文)

Research on the Systems and Concepts about Natural Ventilation, Cooling, Thermal Control, and Lighting of Modern and Contemporary Venezuelan Architecture

研究代表者

松島 史朗 (MATSUSHIMA SHIRO)

豊橋技術科学大学・大学院工学研究科・教授

研究者番号 : 40422810

研究成果の概要 (和文) :

地球温暖化の影響により将来日本は亜熱帯化するという予測がある。本研究では、熱帯地域でありながら人為的換気・冷暖房システムに頼らない生活を可能としているヴェネズエラの建築について調査を実施し、伝統的建築から受け継いだ自然との境界のない建築構成が、快適な室内環境に大きく寄与していることを明らかとした。研究期間中も最高気温記録が更新され、この夏の電力不足が心配される状況にあつて、実際の計画に応用可能な数々の知見を得た。

研究成果の概要 (英文) :

With forecast that the climate of Japan will become semi-tropical as a background, in this research survey on Venezuelan architecture that does not depend on artificial ventilation and air-conditioning is conducted and it is revealed the architectural configurations with blurred boundaries between exterior and interior spaces inherited from traditional architecture highly contribute to comfortable interior space. For the current situation that highest temperatures were recorded in multiple places even during the course of research and energy crisis is prospected this summer, several empirical factors and mechanisms applicable to the real project are found.

交付決定額

(金額単位 : 円)

	直接経費	間接経費	合計
2008 年度	4,500,000	1,350,000	5,850,000
2009 年度	4,500,000	1,350,000	5,850,000
2010 年度	3,400,000	1,020,000	4,420,000
年度			
年度			
総計	12,400,000	3,720,000	16,120,000

研究分野：建築設計，デザインテクノロジー，マネジメント

科研費の分科・細目：基盤研究(B)・海外学術調査

キーワード：地球温暖化，パティオ，自然換気，CFD，PMV，ヴィラヌエバ，ジオ・ポンティ

1. 研究開始当初の背景

地球温暖化と都市の高密度化，空調設備の普及により，日本の都市部では年間平均気温の上昇という現象が生じ，その傾向はこれからも加速すると予想されている。事実，日本各地で最高気温の更新，月間平均気温の上昇による温暖な時期が長期化するなどの現象が起こっている。しかし，公共建築，商業施設，集合住宅，個人住宅のいずれにおいても，北米・欧州を見習った高気密・高断熱の建築が主流であり，平均気温の上昇にともない，それがなくては経済・日常活動に困難を極めるほど人為的換気・冷暖房システムに頼らざるを得ない状況を呈している。鉄やコンクリートで内部空間と外部空間を遮断し，化石エネルギーを使って内部空間を快適にする北米・欧州型近代建築のシステムを続けることは，地球資源の枯渇によって破綻せざるを得ないだけでなく，人間が人間らしく生きるための「生活の質」という観点においても，肉体的・精神的に様々な問題を引き起こしつつあることは明らかになってある。人間が活動し，休息するための建築物の理想的なあり方を考え，実用可能な方法で提案することは喫緊の課題である。

2. 研究の目的

1を背景に，アジアの諸都市に残る，時間や空間を柔軟に使い，自然を取り込んだ建築が注目されている。中でもヴァナキュラー建築には，自然エネルギーを積極的に利用したパッシブ手法により環境負荷を最大限に抑え，屋内環境の快適性を確保しているものが多くみられる（「ヴァナキュラー建築の環境工学的研究」村上周三）。しかしながら，同様の属性を持つと考えられるラテンアメリカの建築との比較研究はこれまでほとんど手がつけられていない。同様にヴァナキュラー建築およびそれを応用した近代建築の環境的側面からの調査は少ない。

本研究の目的は，熱帯地域でありながら人為的換気・冷暖房システムに頼らない生活を可能としているヴェネズエラの近代建築の空間構成と環境についての調査と評価を行い，日本への応用の可能性を探ることである。

3. 研究の方法

(1) 建築調査

カラカス市および周辺地域の建築，ヴェネズエラ植民地建築のルーツであるスペイン本土，および植民地政策の中継点であった

諸島の建築についての現地調査を実施。

(2) 空間構成・温熱環境調査

上記調査をもとに，建築家カルロス・ラウル・ヴィラヌエバ設計のユネスコ世界遺産でもあるヴェネズエラ中央大学と建築家ジオ・ポンティ設計のプランチャート邸の近代建築を中心に，カラカス市内の都市住宅ならびに伝統的建築の空間構成および温熱環境の実測調査を行う。これらの建築には，自然との境界のない伝統的建築に共通する工夫が随所に見られるが，特筆すべきは，人工的な空調設備等に頼らないパッシブ手法を用いて低環境負荷を実現させているだけでなく，近代建築として優れたデザインに昇華させている点である。

なおヴェネズエラ中央大学の現地調査にあたっては同大学 Edwin Meye 氏，Maria Eugenia Bacci 氏の協力を，プランチャート邸においてはプランチャート財団の協力を得て実施した。また，市中の建築調査は，ヴェネズエラと友好関係にある豊橋市国際交流協会およびカラカスの日本人会の協力を得て行った。

(3) 空間構成の分析

現地調査により得たデータを基にコンピュータ・グラフィックス (CG) を作成する。CG モデル (図 1) により，空間の評価と環境解析を行う。



図 1 左：中央大学，右：プランチャート邸

(4) 流体力学シミュレーション

現地調査により収集した温熱環境の実測データと上記 CG モデルを用いて，流体力学シミュレーション (Computational Fluid Dynamics=CFD) を行う。この CFD 解析は風の動きを視覚化することができ，そのため都市内の気流を踏まえたまちづくりや都市計画を行う場合などに非常に有用なツールとして近年注目されている。

4. 研究成果

伝統的建築から受け継いだ自然との境界のない建築構成が，快適な室内環境に大きく寄与していることを明らかとした。昔の建築家が経験から知っていた，建築のシステムの一部を視覚化して示すことができた。

(1) 調査建築の概要

① ヴェネズエラ中央大学

ヴェネズエラ中央大学は、「覆われた空間」(図2)という、歩道、アーケード、広場などを屋根で覆った半屋外空間がキャンパス全体に拡張されているという特徴を持つ。この覆われた空間は、ヴェネズエラ土着のパティオ(中庭)回廊をヴィラヌエバが近代建築に応用したものであり、各建物をつなぐネットワークとしての機能を果たすと同時に、赤道直下である強い日差しを防ぐ効果も持っている。

さらに壁面の多くが、ホロー・ブロック(図3)となっており、内部空間に冷気を取り入れるフィルターとして機能すると同時に光が室内に直接差し込むのを抑え、ギラツキを防ぐ効果がある。これはカラカス市内の多くの都市空間からも発見することができる。

このように半屋外空間や中庭を効果的に使用し内部空間に自然を取り込み、日差しを緩和し通風性を高める工夫により快適な環境を実現している。

② プランチャート邸

中央にパティオを持つジオ・ポンティ設計の建築の形態は、室内での視線に基づいて設計されている(図4)。ポンティは、さらにカーテンウォールと「自己照明」建築という2つの構造の原則により設計した。第一の原則は、非支持壁を地面から離し、空中に舞うような外観を与え、美的視点から軽く見えるようにすることによって達成した。第二の原則は、住宅の照明を軒先や裏側の屋根の下に隠すことによって表現した。夜になって照明が点灯すると、別の種類建築に姿を変えたように見える。プランチャート邸は卓越風の向きを考慮して設計したと言われ、さらに内部空間はパティオとダイニングが完全に連続し(図5)、自然環境との境界がない空間を持つという、伝統建築に通ずる特徴がある。

③ ヴェネズエラ集合住宅C邸

この建物はカラカス市内の中心に位置する集合住宅である。他の都市住宅と同様に、エレベータホールや非常階段等の公共部分の外壁はホロー・ブロックになっており、日差しを緩和しつつ通風性を確保している。住戸は3方向に開口部があり風が住宅全体に行きわたるようになっている(図6)。バルコニーとの連続性を得るために、リビングとバルコニーの段差は10mmほどで床の仕上げ同一材になっている(図7左)。

ダイニングに接して広めのバルコニーが設けられている(図7右)。2方が開放され通風に優れ、オーニングを組み合わせて日射を遮り住戸内に爽やかな風を供給しており、伝統的なパティオに通じる効果がある。

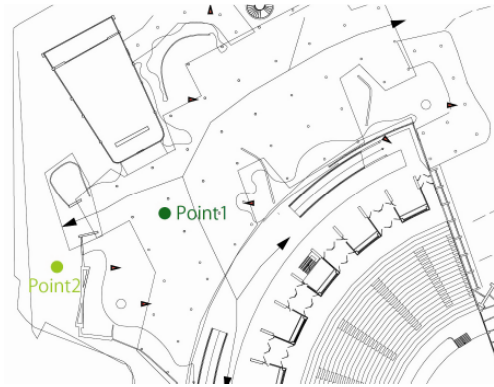


図2 覆われた空間と計測点



図3 左: 覆われた空間, 右: ホロー・ブロック

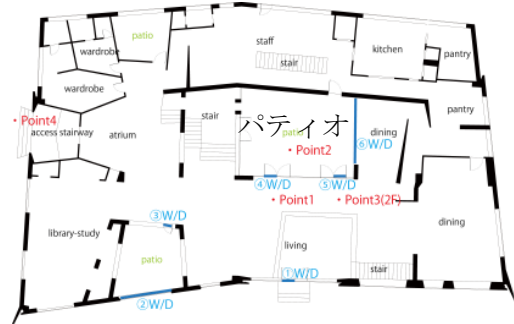


図4 プランチャート邸1階平面図



図5 左: リビング, 右: パティオに開いたダイニング

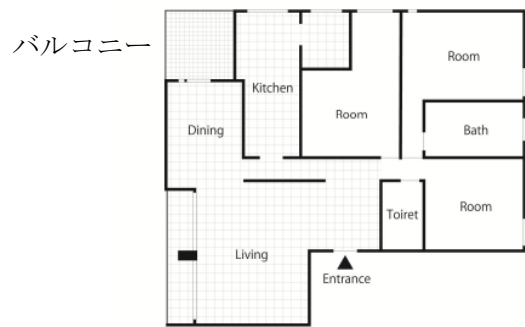


図6 C邸平面図

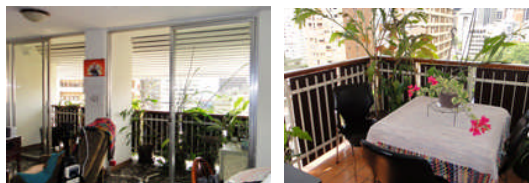


図7 左: C邸リビング, 右: 同バルコニー

(2) 温熱環境測定結果

① ヴェネズエラ中央大学

温湿度の測定結果を図 8 に示す。屋外温湿度は冬季でありながら 30℃を越し、湿度は 20~25%と低い結果となった。一方、空間の大部分が覆われた空間である Point 1 (図 2) は、外気温よりも 6~8℃ほど低い約 26℃に保たれた。このように、日差しを遮蔽するだけで室内環境が冷涼に保たれることが分かった。

快適性を評価するために、総合温冷感指標 (PMV) 及び温熱環境に対して不満足な人の割合 (PPD) の 2 つを利用した (表 1)。PMV の値は -0.64~0.04 という結果となった。この値は快適奨励域の範囲内 (-0.5~0.5) であり、十分な快適性を示す評価となった。注目すべきは値の大半が涼しいという結果となった点である。PPD に関しても 10%と以下という結果となり、覆われたプラザ内は良好な環境性能が確保されていることが数値的に明らかになった。

② プランチャート邸

温湿度の測定結果を図 9 に示す。

15:10 /温度 29.5℃ /湿度 42%

17:35 /温度 26.4℃ /湿度 51%

温度はパティオ、リビング、2階の順に高くなり、湿度はその逆の関係となった。パティオに隣接し、開口部を二箇所開けていたため温度が近似したのに対し、2階は開口部が開いていなかったため、空気が滞留し温度が高い結果となったと予想される。

Point 1 を PMV 及び PPD の 2 つを用いて評価する (表 2)。PMV の値は -0.96~0.19 という結果となった。測定前半では値は快適奨励域の範囲内であるのに対し、後半はやや寒いという結果になった。

③ ヴェネズエラ集合住宅 C 邸

温湿度の測定結果を図 10 に示す。温度の関係性は外気温、バルコニー、リビングの順に低くなり、湿度はその逆の関係を示した。

外気温とリビングの温度差は、平均して 2~3℃ほどとなった。住居内は常に 0.3~0.7m/s の微風が吹いていたので湿度が高いにもかかわらず快適な居住性能を確保していた。

リビングに対し PMV 及び PPD の評価を行った。PMV は -0.43~-0.92 と冬季であるためやや寒いという結果になった (表 3)。これは服を重ね着する、風の流れを制限するといった人為的工夫のみで改善できる範囲内である。事実この集合住宅の家主は、夏季は冷房設備がなくとも涼しくすごせ、冬季は窓を閉めるだけで良好な環境となり、一年を通して快適であると述べている。

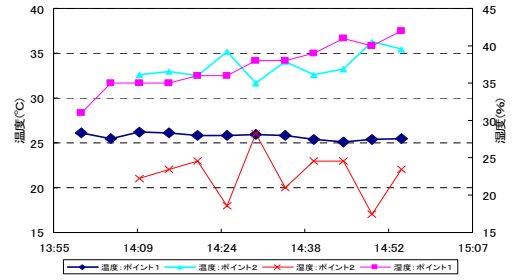


図 8

表 1

	Air Temperature	Mean Radiant Temperature	Relative Air Velocity	Relative Humidity	Clothing	Metabolic Rate	PMV	PPD
	[°C]	[°C]	[m/s]	[%]	[clo]	[met]		[%]
14:00	26.1	26.2	1.82	31	0.7	1.2	-0.24	6.2
14:05	25.5	25.7	2.37	35	0.7	1.2	-0.51	10.5
14:10	26.2	25.8	0.78	35	0.7	1.2	0.04	5.0
14:15	26.1	26	1.06	35	0.7	1.2	-0.06	5.1
14:20	25.8	25.9	1.92	36	0.7	1.2	-0.33	7.3
14:25	25.8	25.8	2.24	36	0.7	1.2	-0.38	8.1
14:30	25.9	25.8	0.96	38	0.7	1.2	-0.08	5.1
14:35	25.8	25.8	2.56	38	0.7	1.2	-0.41	8.5
14:40	25.4	25.9	1.82	39	0.7	1.2	-0.42	8.7
14:45	25.1	25.4	2.56	41	0.7	1.2	-0.64	13.5
14:50	25.4	25.4	1.5	40	0.7	1.2	-0.37	7.9
14:55	25.5	25.7	2.07	42	0.7	1.2	-0.41	8.3

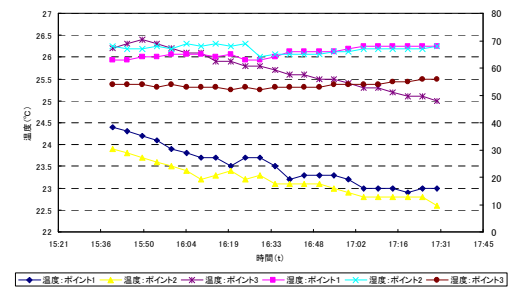


図 9

表 2

	Air Temperature	Mean Radiant Temperature	Relative Air Velocity	Relative Humidity	Clothing	Metabolic Rate	PMV	PPD
	[°C]	[°C]	[m/s]	[%]	[clo]	[met]		[%]
15:30	25.2	25.8	0.32	61	0.7	1	-0.19	5.8
15:40	24.4	24.6	0.31	65	0.7	1	-0.49	10.1
15:50	24.2	24.4	0.31	64	0.7	1	-0.66	11.6
16:00	23.9	24	0.35	65	0.7	1	-0.73	16.4
16:10	23.7	23.9	0.32	65	0.7	1	-0.75	17.0
16:20	23.5	23.7	0.2	65	0.7	1	-0.81	12.9
16:30	23.7	23.8	0.25	69	0.7	1	-0.67	14.4
16:40	23.2	23.4	0.22	66	0.7	1	-0.75	17.0
16:50	23.3	23.4	0.25	66	0.7	1	-0.79	18.2
17:00	23.2	23.3	0.21	67	0.7	1	-0.74	16.5
17:10	23	23.1	0.29	68	0.7	1	-0.86	24.4
17:20	22.8	23.1	0.22	66	0.7	1	-0.85	20.2

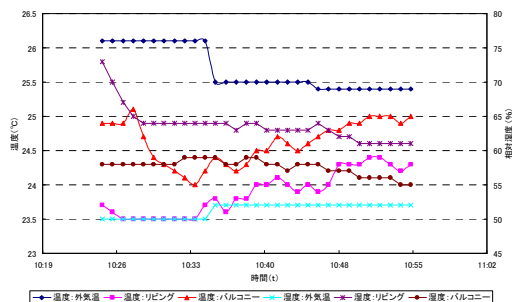


図 10

表 3

	Air Temperature	Mean Radiant Temperature	Relative Air Velocity	Relative Humidity	Clothing	Metabolic Rate	PMV	PPD
	[°C]	[°C]	[m/s]	[%]	[clo]	[met]		[%]
10:25	23.7	24.5	0.34	73	0.7	1	-0.64	13.7
10:28	23.5	24.1	0.34	65	0.7	1	-0.81	18.8
10:30	23.5	24	0.41	64	0.7	1	-0.92	23.0
10:33	23.5	23.9	0.41	64	0.7	1	-0.93	23.5
10:35	23.7	23.9	0.71	64	0.7	1	-1.15	33.1
10:38	23.8	23.9	0.71	63	0.7	1	-1.13	32.1
10:40	24	24	0.5	64	0.7	1	-0.88	21.4
10:43	24	24	0.5	63	0.7	1	-0.89	21.7
10:45	24	24	0.22	63	0.7	1	-0.52	10.6
10:48	24.3	24.1	0.22	62	0.7	1	-0.44	9.1
10:50	24.3	24.2	0.32	61	0.7	1	-0.60	12.5
10:55	24.3	24.2	0.22	61	0.7	1	-0.44	9.0

(3) 流体シミュレーション

ヴェネズエラ中央大学とプランチャート邸についてCGモデルを作成し、CFD解析を行った。

①ヴェネズエラ中央大学

「覆われた空間」の風の流れをWind Perfect DXによるCFD解析で検討を行った。解析範囲は覆われたプラザ、オーラ・マグナ（講堂）を中心とする。風向及び風速（北東から3.4m/s）は実測から得た値を基に解析を行う。シミュレーション過程を図11に示す。解析モデルは覆われたプラザ、オーラ・マグナについては詳細に作成し、その他の講義棟は簡略化させた。また解析範囲の風下にあたる医学部棟は省略した。

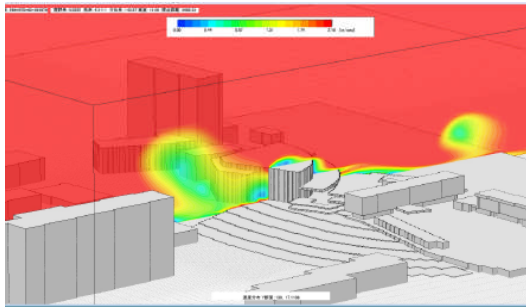


図 11

解析の結果、覆われたプラザ内（Point 1）の風速、風向が実測値に近似したため、CFD解析での値が信頼性の高いものとして考察を行うこととした。

解析結果から、覆われたプラザ内に強い風の流れを確認することが出来る。北東に開かれた広場は、風を直接覆われたプラザに運ぶための風道としての役割を果たしていることが判る。オーラ・マグナ周辺の風速は弱まるが、それでも全体的に覆われたプラザを循環するように風が流れている（図12）。実際は、覆われたプラザへ流れ込む風は、キャンパスの所々に配された樹木の間を抜けてきており、その際冷却された空気は非常に心地良いものであった。

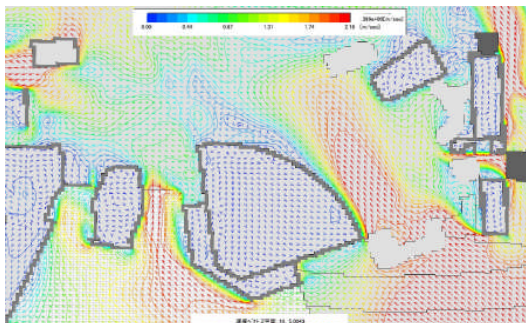


図 12

②プランチャート邸

プランチャート邸は2種類の開口条件で解析を行った。一つは開口条件を実測と同様

に、パティオとリビングに面した北側の二つを開け解析した（図13上）。北側の開口から速い風（2.12m/s程度）の流れを確認できる。風はリビングを抜け、「コメドール・トロピカル」（パティオに隣接する小ダイニング）の大きい開口に誘引されるように、パティオへ抜けている。北側のパティオからの風も同様に、アトリウムよりもリビングへ強く風が流れている。風の流れは、南側の開口が開いていないためリビングのみに確認され、その他の場所は無風状態となっている。高さが上がるにつれ、リビング空間は無風状態となる。中央のパティオでは風速0.85~1.27m/sの上昇気流が発生している。

二つ目は、パティオに面する2箇所の開口部のみを開けて検証を行った。その場合でも、上方向への気流が発生し、「コメドール・トロピカル」に弱い風の流れを確認できた。建物外周部の開口を開けなくてもリビングに風速0.3m/sの微風が吹くという結果が得られた（図13下）。

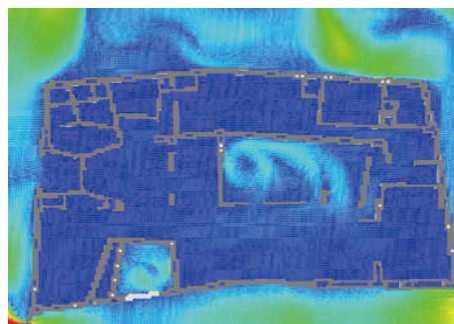
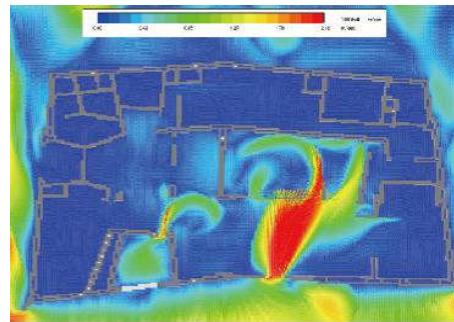


図 13 上：北側の2開口を開放
下：北側の2開口を閉鎖

シミュレーション結果より、パティオでは、常に上空への風の流れが確認された（図14）。

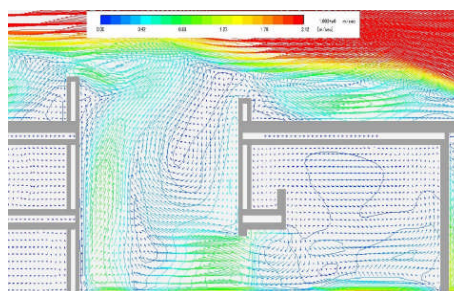


図 14

この圧力差を利用した換気法は、外周部の開口を閉じた時でも機能していた。これによりパティオと「コメドール・トロピカル」をつなぐ連続した空間は、風の流れをリビング全体に循環させる効果があることが判った。

(3) まとめ

- ① ヴェネズエラの伝統的建築の自然換気・保温・採光システムやその思想が近代・現代建築にも受け継がれていることが明らかになった。
- ② 昔の建築家が体験を通して知っていたと考えられる、亜熱帯地域の建築における空間の連続性、半屋外空間の多用、圧力差を利用することによる高い通風性を可能にする自然換気システムの効果が、実測とCFD解析により視覚化でき、ある程度検証された。
- ③ ヴェネズエラ中央大学、プランチャート邸の両建築は規模・機能ともに全く異なるが、パッシブ手法を用いた快適性向上に対する工夫が随所にみられた。前者では、ヴィラスエバは伝統的な建築構成をそのまま、もしくは再解釈して用いており、後者では、ポンティは伝統的なパティオを忠実に近代建築に取り込んで効果をあげている。

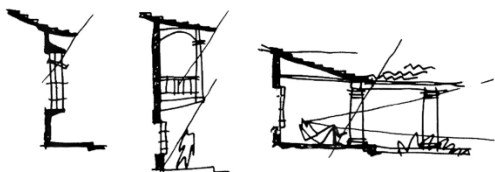


図 15 ヴィラスエバのスケッチ

- ④ 古代より用いられてきたパティオ等の熱帯・亜熱帯建築の自然換気システムは、グラナダ等スペイン本土で展開され、植民地政策の中継点であるカナリア諸島を経て南米に移植され、現代へも受け継がれていることが現地調査により明らかとなった。一方、近隣のオランダ植民地であるクラサオ島では、オランダ様式の建築が建設されたが、恐らく暑さへの対応が難しく、廃墟と化したものが多く見られ、スペインのコロニアル様式に優位性を見た。(現在、空調システムを取り入れて観光地として再開発が進んでいる)
- ⑤ 本研究の文献・現地調査、空間・温熱環境の評価、モデル作成、CFD解析の一連のプロセスから、現代においても再評価に値する自然と共生する建築の構成要素をある程度明らかにすることができた。それらは、特に夏場を考えた場合の、日本の建築にも応用可能であることが予見された。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計1件) 千葉遥, 松島史朗, 助川たかね, ヴェネズエラ近代建築からみるサステナブル建築のあり方, 日本建築学会論文集(査読付), 投稿準備中

〔学会発表〕(計2件) 日本建築学会大会にて発表予定, 2011年8月

〔図書〕(計1件) スペインから南米に至る環境共生建築の系譜について予定

〔産業財産権〕

○出願状況(計0件)

○取得状況(計0件)

〔その他〕

日本建築学会情報技術システム委員会情報交換フォーラムにて, CFDの設計ツールとしての可能性について発表, 2011年3月

6. 研究組織

(1) 研究代表者

松島 史朗 (MATSUSHIMA SHIRO)
豊橋技術科学大学・大学院工学研究科・教授
研究者番号: 40442810

(2) 研究分担者

助川 たかね (SUKEGAWA TAKANE)
映画専門大学院大学・映画プロデュース研究科・教授
研究者番号: 10440421

(3) 研究協力者

松本 博 (MATSUMOTO HIROSHI)
豊橋技術科学大学・大学院工学研究科・教授 (CFD解析についての指導と助言)

千葉 遥 (CHIBA HARUKA)
豊橋技術科学大学・大学院工学研究科・修士2年生

平野 智彦 (HIRANO TOMOHIKO)
丸紅現地法人副社長

豊橋市国際交流協会

在日本ヴェネズエラ大使館
石川大使 等

ヴェネズエラ日本人会

ヴェネズエラ中央大学

プランチャート財団