

## 科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成24年 5月 18日現在

機関番号：22604

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2009年度～2011年度

課題番号：21560614

研究課題名（和文） 最適設計を目標とした水道直結給水方式における課題の解法

研究課題名（英文） Solution of problems in direct water supply system to the most suitable design

研究代表者

市川 憲良（ICHIKAWA NORIYOSHI）

首都大学東京・都市環境科学研究科・教授

研究者番号：10193434

研究成果の概要（和文）：本研究は、直結給水方式の最適な設計を行うために必要な、次の4つの課題について検討したものである。1) 瞬時流量算定方法に対する新しい提案：近年の世帯数の変化や節水器具の普及に伴う水使用変化に対応させた。2) 直結給水方式に対するエネルギーの評価：エネルギー評価、及び増圧ポンプの流量推定構築を検討した。3) 不満流量の解明：水使用行為に対する不満流量を決定した。4) 直結直圧システムの要求性能の解明：システム性能の要求緒言を解明した。

研究成果の概要（英文）：This study is examined for four problems to do the most suitable design of a direct water supply system. 1) Suggestion of a new second flow quantity calculation method：suggested calculation method considers a household numerical change of late years, the spread of a saving water appliance. 2) Evaluation of energy for direct water supply system：energy evaluation is done for a direct connection increase pressure water supply system, in addition, a flow quantity estimate of an increase pressure pump is done. 3) Elucidation of dissatisfaction flow quantity：flow quantity to be dissatisfied for water use act is decided. 4) Solution of demand performance for booster direct water supply system：demand performance for a system is elucidated.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	1,700,000	510,000	2,210,000
2010年度	1,100,000	330,000	1,430,000
2011年度	700,000	210,000	910,000
年度			
年度			
総計	3,500,000	1,050,000	4,550,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：建築学・建築環境設備

キーワード：水道直結給水方式・直結増圧方式・直結直圧方式・瞬時流量算定法・不満流量・システム性能・最適設計

## 1. 研究開始当初の背景

1991年、厚生労働省（当時厚生省）は水道行政の施策として「21世紀に向けた水道整備の長期目標」（通称：ふれっしゅ水道計画）の指針を発表した。その中で「水道整備の目標」としてあげられた7項目の一つに「直結給水対象の拡大」が示された。以来、水を供給す

る事業体を中心として、水道直結給水方式に伴う開発・見直し等が積極的に行われてきた。その結果、都市域における中規模集合住宅の給水方式には、水道本管からの水道メータ以降に増圧ポンプユニットを設けた「直結増圧式給水方式」が指数的な伸びを示しながら普及した。また、1～2階の小規模建物や独立住

宅の給水方式であった「直結直圧式給水方式」も、種々の検討を踏まえながら、4～5階建ての集合住宅にまでの採用を試み始めて来ていた。

水道直結給水方式は、受水槽を設けないことによる水質の確保、水道本管の保有エネルギーの有効利用、省スペース化などの利点があるが、具体的な設計に当たっては、明らかにすべき課題がいくつか存在していた。

これらの課題は、複雑に関連し合っており、必ずしも単一に明快な解が見いだせない可能性も有していた。建物内の給排水設備を中心に研究に携わってきた研究代表者も、水道直結給水方式に関わる開発や見直し等の検討に種々関わってきており、それまで得てきた知見に基づき、大枠として4課題を設定し、その解法を検討する研究計画を立案した。以上が研究当初の全体的な背景であるが、以下に研究を遂行する上での4つの課題に対する背景を示す。

(1) 瞬時流量算定方法の新しい提案の背景  
水道直結給水方式では、受水槽式と異なり容量的なバッファが無いことから、設計時の瞬時流量予測が極めて重要となる。しかし、現行の瞬時流量算定方法は、かなり前に計測したデータに基づき作成されたものが多い。特に集合住宅では、節水機器の普及や世帯人数の変化など、近年の水使用実態を反映した算定式が切望されていた。

集合住宅における瞬時流量の研究は、研究代表者も含め国内外でも報告されてきた。しかし、調査範囲の限界から、少ない数の事例研究に止まっていた。調査数を補完するためにモンテカルロ法などによるシミュレーションも多く発表されたが、近年の水使用実態を反映させた提案には至っていなかった。研究代表者や本学社会人博士後期課程の小寺定典（UR都市機構）は、近年、膨大な数の集合住宅の瞬時流量データを入手していた。これらのデータを中心に解析を行うことにより、瞬時流量予測の新たな算定式が策定可能である判断し、当初の着想に至った。

(2) 直結直圧式における水道本管保有エネルギーの有効性評価の背景

直結増圧給水方式は、米国・ヨーロッパなどは、1960年頃から採用されてきたが、国際会議等で関連する研究は見当たらない。研究代表者は、我が国の現況、利点、問題点の指摘等を報告した。環境負荷削減の影響もあり、増圧ポンプのエネルギー評価を試みてきた。この活動の中で、増圧ポンプ稼働時の回転数などから流量を推定する手法を確立する検討も必要であると判断し、始当初の着想に至った。

(3) 水使用行為における不満流量解明の背景  
研究代表者は、日本建築学会のシンポジウム

等で、人間を対象とする評価では、感性的な指標が大切であることを提言してきた。水使用時に、シャワーなどの流量が変化した場合、苛立ちや不満を感じる可能性がある。不満を感じる限界流量を明らかにすることは、設計時のシステム性能を考える上で重要な指標になると判断し、当初の着想に至った。

(4) 直結直圧給水システムの要求性能緒元解明の背景

近年の4～5階集合住宅への直結直圧給水の導入と、洗浄弁内蔵型大便器（通称タンクレストイレ）の設置が多い。大便器洗浄時には瞬時に多量の水量が必要となり、他器具の同時使用に大きく影響を及ぼす。種々の開発製品への対応も考慮し、直結直圧システムの性能的な緒元解明が急務と判断し、当初の着想に至った。

## 2. 研究の目的

水を供給する事業体の考えが若干先行し、建物内給水システム設計の視点から考えた、現状で解決すべき重要な課題がなおざりにされている。本研究では集合住宅を対象に、水道直結給水方式の最適な設計方法を確立することを目標に、上記と同じ(1)～(4)課題に対して研究を遂行することを目的としている。

(1) 受水槽が無い事から、配管や機器の設計段階で瞬時流量の把握が極めて重要となる。しかし現在、近年の水使用実態を反映した算定式はないことから、瞬時流量を予測する新たな算定式を提案する。

(2) 設計時に環境負荷削減やエネルギー評価が要求される今日、直結増圧給水方式の利点とされる、本管圧力とポンプ稼働のエネルギー評価は重要となる。増圧ポンプの消費エネルギーを明らかにすると共に、ポンプ回転数から流量推定を行う方法を検討する。

(3) 同時使用時においては他住戸、他器具の吐水量に影響を及ぼし、水や湯の使用感に不満を生じる可能性が極めて高い。システムの設計時や性能評価時の判断基準として、快適性を維持し得る限界水量（不満流量）を被験者実験により明らかにする。

(4) 集合住宅において直結直圧給水方式の採用が多くなると予測されるが、建物内給水システム性能に要求される諸元が明確でない。例えば、近年採用の多い、洗浄弁内蔵型大便器は、洗浄時には瞬時に多量の水量が必要となる。しかしシステムに圧力不足や流量不足を生じた場合、汚物の排出・搬送性能が低下する危険性は極めて高い。また、同時使用に伴う他器具への影響を明らかにしておく必

要がある。最適な設計を行うことを目標として、実験やコンピュータシミュレーション等により、水道直結給水システムに要求される性能緒元を明らかにする。

### 3. 研究の方法

上述した(1)～(4)課題に対応した研究の方法を以下に示す。

(1)瞬時流量算定方法の新しい提案に対しては、市川及び小寺がこれまでに入手した集合住宅における瞬時流量データ、及び学会等で報告された瞬時流量に関する論文等を統一フォーマットの電子データに変換した。その上で、アンケート調査による住戸属性等のデータも絡めて、規模別の瞬時流量の実態把握に向けて、瞬時流量と住戸数の関係、時間平均流量、瞬時最大流量、ピーク発生時間、ピーク率などについて解析した。算定方法の提案では、新しい切り口として、例えば100年に一度起きるか否かの大雨や地震分野で扱われる、「極値理論(グンベル分布や一般極値分布[GEV])」を適用させ、長期スパンで生じる極めて大きな瞬時流量に対する安全性を加味した算定式の提案に向けた検討を行った。また、水資源の有効利用から、節水や雨水利用は、将来の瞬時流量に直接影響を及ぼす可能性があることから、地域特性に着目した水資源データ構築の検討も行った。

(2)直結直圧式における水道本管保有エネルギーの有効性の評価に対しては、直結増圧給水システムにおける増圧ポンプのエネルギー評価を行うものとした。具体的には直結増圧給水方式に更新した場合の増圧ポンプの消費電力量の実態調査から、エネルギー評価を行った。なお、本管の保有エネルギーは、圧力エネルギーであることから、システム性能でも圧力エネルギーで種々評価した。また、今後、増圧ポンプのエネルギー評価を行う上で必要と考えられる、ポンプ回転数から流量を推定するために実験室実験及び実験用既存建物での実測等を行った。

(3)各種水使用行為における不満流量の解明に対しては、人が不満を感じないで快適性が維持できる限界流量(不快流量または不満流量)を明らかにするために、市川が行ってきた、通常の使用流量と限界流量について、験者側が変化させた実験室実験、使用者が任意に変化させた場合の自宅実験の再分析を行った。また、最も湯量変動を敏感に感じるシャワー使用に対する不満流量について実験室実験を行った。分析では、人間の不満指標(温熱感評価でいうPPD[予想不満者率]を想定)の考え方を導入し、不満者数を10以下とした場合の流量を検討した。

(4)直結直圧式給水システムの要求性能緒元の解明に対しては、標準的な住戸内配管システムを実験室に組み込み、供給エネルギーとしての圧力、配管の管径・材質・形態、及び器具同時使用などを実験要素として変化させ、各部位での圧力・流量等を計測した。また、直結直圧給水方式に要求される性能緒元及び課題を解明するための、上記(1)～(4)で得られた実験データの詳細解析、及び条件を変化させた場合の住棟・住戸内を想定した給水システム性能のシミュレーション等を行った。

### 4. 研究成果

本研究による成果は、極めて多く得られた。以下に上述の(1)～(4)課題に対応した代表的な研究成果の例を示す。

#### (1)瞬時流量算定方法の新しい提案

①計測期間3週間における最大値に対する、各期間の最大値の比率を図1-1及び図1-2に示す。図1-1は実測値、図1-2はグンベル分布であるが、1週間～3週間の範囲において

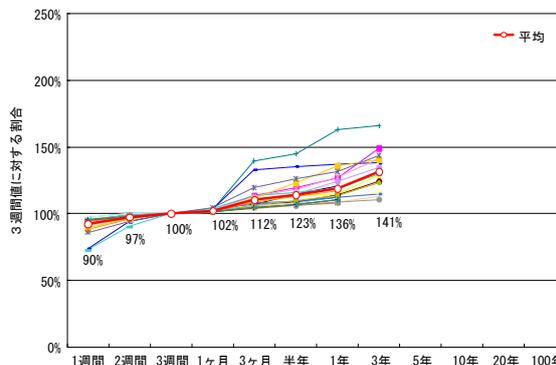


図1-1 期間別の3分最大値(実測値)

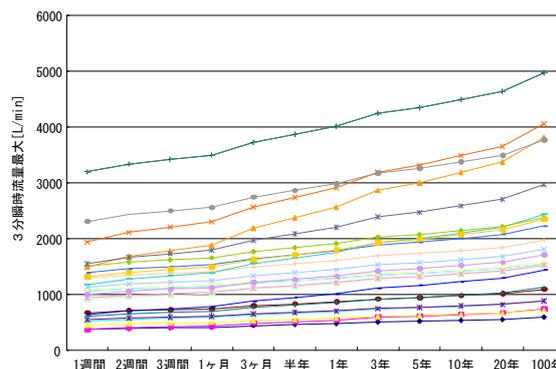


図1-2 期間別の3分最大値(グンベル関数)

良く適合している。3カ月に1度の最大値は3週間値に対し、実測値で12%増、グンベル関数値で11%増であった。ただし、半年以上の期間においては実測値とグンベル関数値の乖離が若干大きくみられたが、これは実測値に極端に増加したデータが存在していた影響によるものであった。また、グンベル関

数による安全率の人数規模は一律として算出した。

②現行使用されている集合住宅における瞬時流量の算定式は、実測に基づく居住人員との回帰式より導かれている。図1-3に現行算定線図と研究代表者を中心に行った実測調査結果からグンベル関数による検討結果により導いた新たな算定線図を示す。現行の瞬時流量の算定式は、30人以下の時、概ね3カ月に1度起こりうる確率の算定式と同様の算定値となっていた。また、31人以上100人以下の時、1年に1度起こりうる確率の算定式と同様の算定値となっており、かなり大きな余裕率（過大設計）になっていた。

研究代表者を中心に行った具体的な提案式を表1-1に示す。(I)式は実測結果による算定式であり、これまで行ってきたシミュレーションによる算定値とも概ね近似しており、近年の家族構成・節水ライフスタイルを考慮した集合住宅における瞬時流量の新しい算定式として新しく提案した。また、グンベル関数を反映させた長期間における発生確率を考慮し(II)～(V)式も提案した。これ

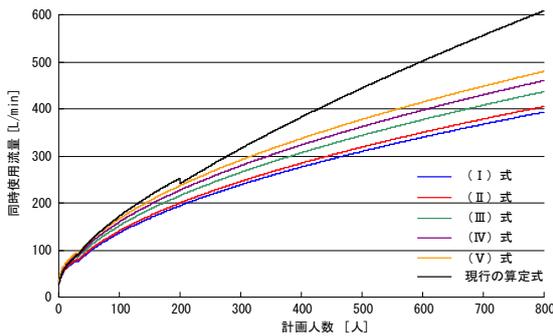


図1-3 実測結果による算定値

表1-1 算定値

	$n \leq 30$	$31 \leq n$
(I) 実測結果	$Q=28.0n^{0.30}$	$Q=13.0n^{0.51}$
(II) 1カ月に一度	$Q=28.8n^{0.30}$	$Q=13.4n^{0.51}$
(III) 3カ月に一度	$Q=31.1n^{0.30}$	$Q=14.4n^{0.51}$
(IV) 半年に一度	$Q=32.8n^{0.30}$	$Q=15.2n^{0.51}$
(V) 1年に一度	$Q=34.2n^{0.30}$	$Q=15.9n^{0.51}$

は、設計時の瞬時流量算定で給水システムのサービスレベルとして捉えることを可能にした、これまでに類をみない新しい提案であると考えられる。この様な提案は、国内外においてこれまで行われたことは無く、そのインパクトは極めて大きいと確信する。

(2) 直結増圧給水システムにおける増圧ポンプのエネルギー評価

①図2-1にエネルギー評価の一例として、集合住宅を対象に、研究代表者を中心に行った高置水槽方式を直結増圧給水方式に更新した場合のエネルギー評価を示す。1週間平均による、時間帯別消費電力量は、改造後に使用水量の増加に伴い増加が見られた。一方、1週間を通算した使用水量1kL当たりの消費電力量を比較した結果、改造後に消費電力量が約0.3kW低減していたことが判明した。

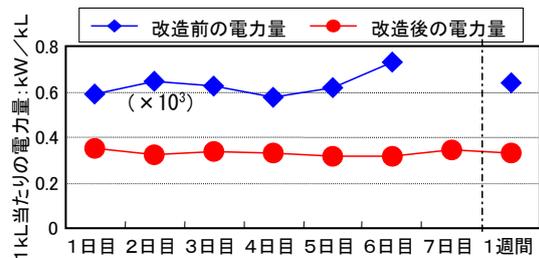


図2-1 給水方式更新の省エネルギー評価

②ポンプの回転数から流量を推定した値とその時の電磁流量計及び超音波流量計の実測結果例を図2-2に示す。基本的には電磁流量計を真値として推定した。この結果、大流量では誤差は少なく、信頼性のある推定が可能であったが、小流量域での信頼性について誤差が多く今後の検討課題とした。

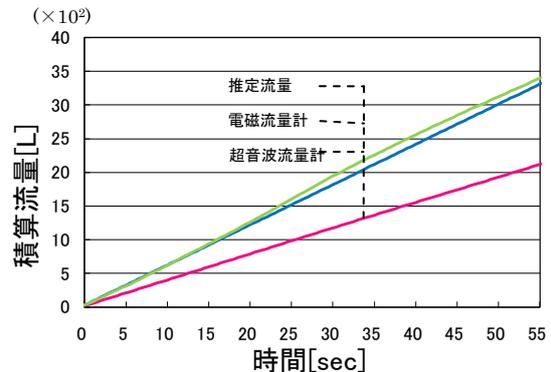


図2-2 積算流量の比較 (300L/min)

(3) 各種水使用行為における不満流量の解明  
被験者の自宅における各種水使用行為の普段の流量と不満流量を実測調査した結果、通常の使用流量・不満流量の結果と共に、シャワー使用中に不満流量を感じる者が多いことが判明した。自宅実験で得た知見を踏まえ、実験室内に設置したシャワーブース実験を行った。自宅実験では、被験者自らが流量を調節（任意調節）した。一方シャワーブース実験では、標準タイプと節水タイプのシャワーを用い、験者側が流量を調節（強制調節）し、過少・過多による不満流量の下限値・上限値等を申告させた。得られた結果を正規分布型および対数正規分布型との妥当性を比較顕彰するためにコルモゴロフスミノル

フ検定（以下 K-S 検定）を行った。図 3-1 と表 3-1 に示す流量と不満足者数の関係から、標準シャワー使用時は、10.1~18.4 L/min、節水シャワー使用時は、9.1~17.0 L/min の範囲において不満足者率が、10%以下になることが明らかになった。

温熱感評価でいう PPD[予想不満者率]の考え方を給水分野の研究に導入した検討例は、国内外においてこれまで行われたことは無く、そのインパクトは極めて大きいと考える。特に、設計に極めて重要な流量の下限値と上限値の提案は、統計的にも妥当性を有した値であり、また、不満足者率に対応する流量は、設計時の給水・給湯システムのサービスレベルとして捉えることを可能にした、これまでに類みない新しい提案と考える。

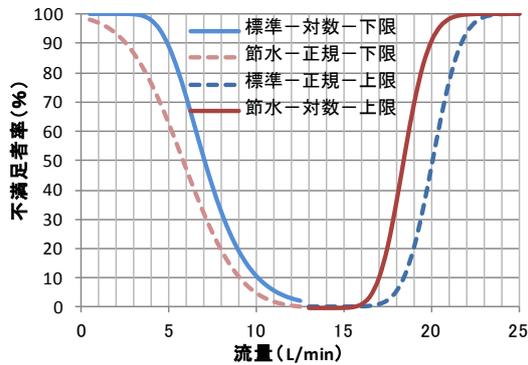


図 3-1 不満足者率

表 3-1 不満足者率毎の不満足流量 (L/min)

不満足者率 (%)	標準タイプ	標準タイプ		節水タイプ	
		上限	下限	上限	下限
5		18.0	11.1	16.6	10.0
10		18.4	10.1	17.0	9.1
20		19.0	8.9	17.5	8.0
30		19.4	8.1	17.8	7.2
50		20.1	7.0	18.4	5.8
90		21.7	4.9	19.9	2.6
95		22.2	4.4	20.4	1.7

#### (4) 直結直圧式給水システムの要求性能緒元の解明

直結直圧給水方式採用の 4 階建て集合住宅における最上階住戸を想定し、管径 20A, 25A のヘッダー式配管と先分岐式配管の計 4 通りの住戸内配管システムについて、単水栓、シャワー、大便器が同時に使用された場合の流量変動および住戸引き込み圧力による影響を明らかにするための実験を行った。不満足者率を 10%以下になる流量とし、単水栓は 4 L/min、シャワーは 9L/min とし、図 4-1 に示した管内圧力シミュレーションを行った。70kPa 以上となる流量として大便器は、21 L/min の 3 器具同時使用の条件下での各種配管方式における住戸引き込み部分の最低

必要圧力を検討した結果を表 4-1 に示す。シャワーにおいて流量を確保するためには、200kPa 程度の圧力が必要であるが、水道本管の最低保障圧力を 200~250kPa と定めている自治体もあり、直結直圧給水方式を採用した場合には、4 階住戸までの圧力損失を考慮すると十分な流量が得られない可能性があることなど多くの性能緒言を解明した。

以上、上記(1)~(4)の研究成果は一部であるが、本研究課の目標であった、水道直結給水方式の最適設計を行うために必要な課題の多くを明らかにした。種々の技法を用いた解析手法や提案は、国内外において、種々インパクトを与えるものと確信する。今後、より最適設計に近づけるために、具体的な設計を行いながら適宜修正を行う予定である。

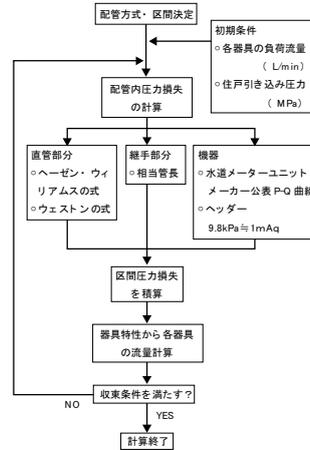


図 4-1 配管圧力シミュレーション

表 4-1 住戸引き込み圧力の検討 (kPa)

	ヘッダー		先分岐		ループ			先分岐+ヘッダー
	20A	25A	20A	25A	1	2	3	
大便器	148.9	128.8	117.8	103.4	117.0	116.9	134.3	148.9
シャワー	191.8	171.8	182.0	167.5	189.6	190.9	185.6	179.9
単水栓	82.2	63.6	73.7	59.5	79.8	78.8	69.3	82.0

#### 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 4 件)

- 1) 小寺定典, 室恵子, 高田宏, 市川憲良: 集合住宅における年間使用水量の規定要因に関する研究-UR賃貸住宅を対象としたアンケート調査-, 日本建築学会環境系論文集, 査読有り, No. 673, pp. 167-184, 2012. 3
- 2) 小澤 諭, 中山 哲士, 鎌田 元康, 市川 憲良, 地域特性を考慮した水資源データ構築に関する研究, 日本建築学会環境系論文集, 査読有り, No. 658, pp. 1027-1032, 2010
- 3) Sadanori Kodera, Noriyoshi Ichikawa, "Study on the Water Supply System for

Sustainability Built Environment”, Consideration for practical use of polyethylene pipes as water supply pipes of common area in residential buildings, Proceedings of ISAIA, 査読有り, pp.993-998, 2010

〔学会発表〕(計 31 件)

- 01) 市川憲良：給水・給湯設備の技術課題と展望, ビル管理教育センター(招待講演), 2012. 1. 20, 日本教育会館一ツ橋ホール
  - 02) Shunsuke MOROOKA, Noriyoshi Ichikawa, :Study on Optimum Design for the Direct Pressure Water Supply System, CIB-W062 International Symposium, (アブストラクト査読有り), pp.128-134, 2011. 9. 26, Aveiro, PORTUGAL
  - 03) 中野民雄, 市川憲良, (他 5 名, 2 番目) : ライフスタイルの多様性に対応した集合住宅における最適な給水設備設計法に関する研究 (第1 報) 変動制原単位基準による給水量の計算プロセスの検討, 空気調和・衛生工学会, 2011. 9. 14, 名古屋大学
  - 04) 島崎翔大, 市川憲良, (他 4 名, 2 番目) : 直結直圧給水システムに関する研究 (その 4) 直結直圧給水方式の集合住宅における水使用実態調査, 空気調和・衛生工学会, 2011. 9. 14, 名古屋大学
  - 05) 小澤諭, 市川憲良, (他 2 名, 3 番目) : 水資源賦存量の地域特性に関する研究 その3 簡易蒸発散量推定式の提案, 日本建築学会大会, 2011. 8. 25, 早稲田大学
  - 06) 中野民雄, 市川憲良, (他 5 名, 2 番目) : 集合住宅の給水設備における最適設計に関する研究, 日本建築学会大会, 2011. 8. 25, 早稲田大学
  - 07) 島崎翔大, 市川憲良, (他 6 名, 2 番目) : 最適設計を目標とした直結直圧給水システムに関する研究 その2 給水負荷算定に関する検討, 日本建築学会大会, 2011. 8. 25, 早稲田大学
  - 08) 諸岡俊祐, 市川憲良, (他 4 名, 2 番目) : 物内給水システムにおける流量推定法の研究, 日本建築学会大会, 2011. 8. 25, 早稲田大学
  - 09) Shota SHIMAZAKI, Noriyoshi ICHIKAWA, Study on the method for estimating flow rate in buildings, CIB-W062 International Symposium, (アブストラクト査読有り), pp.59-70, 2010. 11. 9, Sydney, AUSTRALIA
  - 10) 島崎翔大, 市川憲良, (他 4 名, 2 番目) : 最適設計を目標とした直結直圧給水システムに関する研究 (その 1), 住戸内給水配管システムの検討, 日本建築学会, 2010. 9. 9, 富山大学
  - 11) 小寺 定典, 市川憲良, (他 5 名, 3 番目) : 集合住宅における設計用給水量の最適化に関する研究, その3 水使用に関するアンケート調査の概要, 日本建築学会, 2010. 9. 9, 富山大学
  - 12) Noriyoshi ICHIKAWA, (他 4 名 1 番目) : Trends in and Recent Research into Direct Water Supply Systems in Japan, CIB-W062 International Symposium, (アブストラクト査読有り) 2009. 9. 7, Dusseldorf GERMANY
  - 13) 小寺定彦, 市川憲良, (他 6 名, 3 番目) : 集合住宅における設計用給水量の最適化に関する研究 (第 1 報) 水使用に関するアンケート調査と実測調査, 空気調和・衛生工学会, 2010. 9. 1, 山口大学
  - 14) 堀 静香, 市川憲良, (他 9 名, 2 番目) : 集合住宅における設計用給水量の最適化に関する研究 (第2 報) 水使用のピークに関する検討, 空気調和・衛生工学会, 2010. 9. 1, 山口大学
  - 15) 藤田哲典, 市川憲良, (他 5 名, 2 番目) : 集合住宅における同時使用流量算定方法に関する研究 (第1 報) 集合住宅における水使用実態調査, 空気調和・衛生工学会, 2009. 9. 17, 崇城大学
  - 16) 堀 静香, 市川憲良, (他 5 名, 2 番目) : 集合住宅における同時使用流量算定方法に関する研究 (第2 報) 同時使用流量算定式と安全率の検討, 空気調和・衛生工学会, 2009. 9. 17, 崇城大学
  - 17) 小澤諭, 市川憲良, (他 3 名, 2 番目) : 水資源賦存量の地域特性に関する研究 気象要素の短時間変動特性に関する検討, 日本建築学会, 2009. 8. 26, 東北文化学園大学
  - 18) 小寺定彦, 市川憲良, (他 3 名, 3 番目) : 集合住宅における設計用給水量の最適化に関する研究 その1 アンケート調査概要と住宅形式別世帯人数, 日本建築学会, 2009. 8. 26, 東北文化学園大学
- 〔図書〕(計 5 件)
- 1) 紀谷文樹, 市川憲良, 他, 水環境設備ハンドブック, オーム社, 2011, 580頁
  - 2) 小倉 正, 市川憲良, 丸善, 給排水衛生設備基準・同解説, 空気調和・空気調和・衛生工学会規格 SHASE-206-2009, 2009, 314頁
  - 3) 市川憲良, 他, オーム社, 建築環境設備ハンドブック, 2009, 580頁
6. 研究組織
- (1) 研究代表者  
市川 憲良 (ICHIKAWA NORIYOSHI)  
首都大学東京・都市環境科学研究科・教授  
研究者番号 : 10193434