

衛生工学

上水道1：水需要と上水道システム

2024年4月18日



名古屋大学減災連携研究センター
Disaster Mitigation Research Center, NAGOYA UNIVERSITY

1

平山修久

衛生工学

講義の目標

環境土木工学、建築学

3年前期、関連専門科目

- ▶ 上水道の基本計画、管網システム、浄水処理の原理を理解しており、説明できる。
- ▶ 上下水道に関する環境基準、法規を理解しており、説明できる。

2

衛生工学

スケジュール

1. 4/18 水需要と上下水道システム
2. 4/25 流出解析と地下水取水
3. 5/02 浄水施設
4. 5/09 水道水質
5. 5/16（オンライン予定） 管網解析
6. 5/25（土） 災害と水道システム
7. 5/30 下水道基本計画
8. 6/13 下水収集システム
9. 6/20 下水処理技術1（処理法）
10. 6/27 下水処理技術2（生物処理）
11. 7/04 下水処理技術3（高度処理）
12. 7/11 下水汚泥処理
13. 7/18 上下水道の文明と文化
14. 7/25 施設見学（予定）
15. 8/01 期末試験レポート

3

評価方法

□最終レポート 50%

□施設見学レポート（必須） 10%

□小テスト（課題）毎回 40%

4

質問、確認事項は？

5

水需要と水道システム

6

水需要と水道システム

1. 上水道のミッション
2. 水需要と原単位
3. 水道施設設計

7

水道のミッション 水道法（令和元年度施行）

- ▶ 水道法第1条
 - ・ 水道の布設及び管理を適正かつ合理的ならしめるとともに、水道の基盤を強化することによって、清浄にして豊富低廉な水の供給を図り、もって公衆衛生の向上と生活環境の改善とに寄与する
- ▶ 豊富：原単位が関連、水源の遠隔化
- ▶ 低廉：独立採算制、アセット
- ▶ 清浄：飲料水水質基準、残留塩素0.1ppm以上

8

水道法の一部改正

平成30年法律第92号

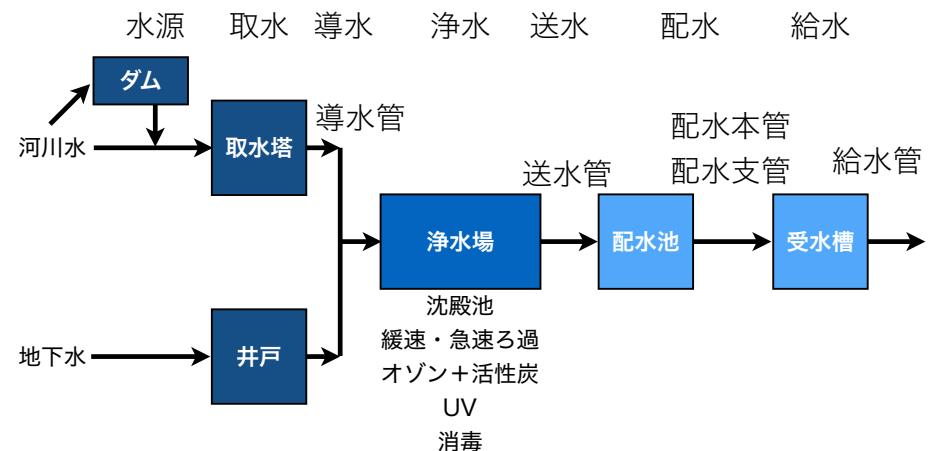
「水道を計画的に整備し、及び水道事業を保護育成する」から「水道の基盤の強化」

- 人口減少に伴う水の需要の減少、水道施設の老朽化、深刻化する人材不足等の水道の直面する課題に対応し、**水道の基盤の強化を図るため**

1. 関係者の責務の明確化
2. 広域連携の推進
3. 適切な資産管理の推進
4. 官民連携の推進
5. 指定給水装置工事業者制度の改善

9

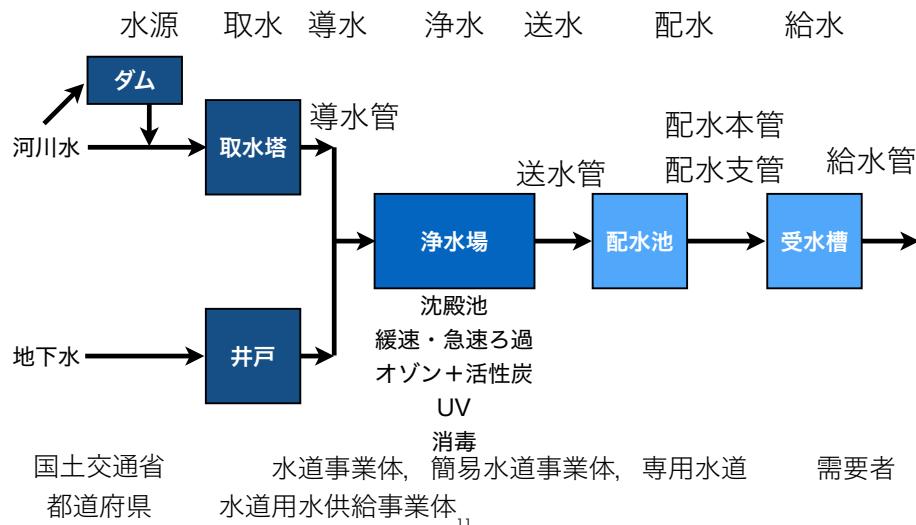
上水道システム



10

上水道システム

複雑なシステム



水道施設

- ▶ **取水施設**：適当な水質の水を必要な量取り入れる施設
- ▶ **導水施設**：水道原水を浄水場まで輸送する施設
- ▶ **浄水施設**：原水を飲料水に適するように処理する施設
- ▶ **送水施設**：処理された浄水を配水池まで送るための施設
- ▶ **配水施設**：浄水を一時的に蓄える配水池と需要者に供給するための配水管
- ▶ **給水施設**：配水管から分岐して各戸の給水栓まで導水するための小口径管

12

水道の種類

- ▶ **水道事業**：一般の需要に応じて、水道により水を供給する事業。ただし、給水人口が100人以下である水道によるものを除く。
- ▶ **簡易水道事業**：給水人口が5,000人以下である水道により、水を供給する水道事業
- ▶ **専用水道**：寄宿舎、社宅、療養所等における自家用の水道その他水道事業の用に供する水道以外の水道。(1)100人を超える者にその居住に必要な水を供給する。(2)その水道施設の一日最大給水量が政令で定める基準を超えるもの。
- ▶ **水道用水供給事業**：水道により、水道事業者に対してその用水を供給する事業

13

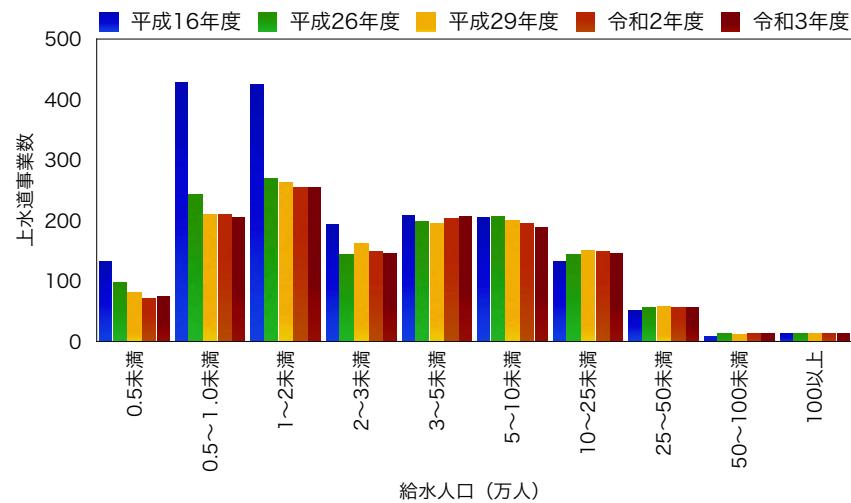
水道事業の種類、事業形態 令和3年度

- ▶ **上水道事業**：1,304
計画給水人口5,001人以上を対象とした水道。
- ▶ **簡易水道事業**：2,415
計画給水人口が101～5,000人を対象とした水道
- ▶ **専用水道**：8,189
計画給水人口が101人以上、人の飲用等に使用する給水量が1日最大20m³を超える水道。
- ▶ **水道用水供給事業**：88
水道により水道事業者に対してその用水を供給

14

規模別の上水道事業者数

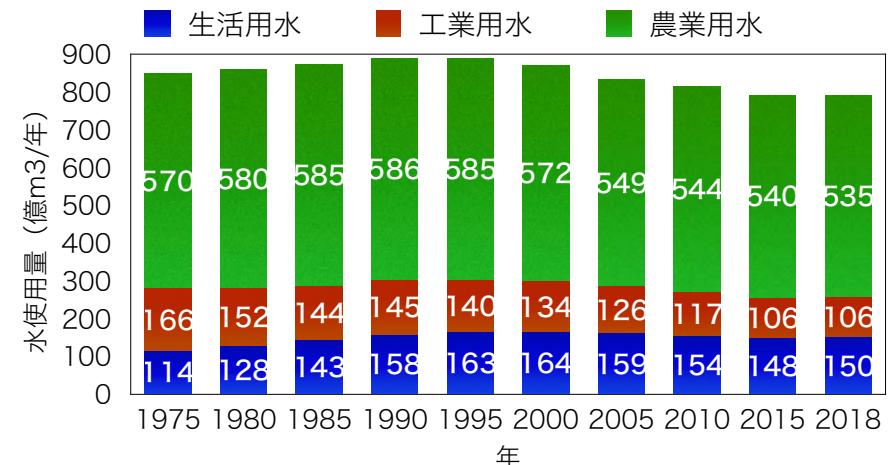
令和3年度水道統計総論



15

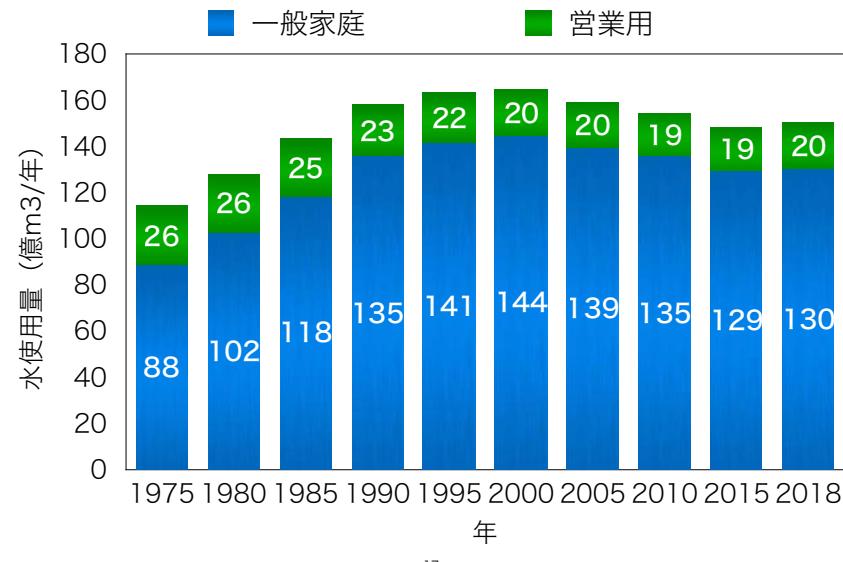
水資源の利用状況

令和3年度 国土交通省 水管理・国土保全局



16

生活用水使用量の推移



17

給水状況

令和3年度

- ▶ 年間総給水量：148.6億m³（ナゴヤドーム8,813個）
- 上水道事業：145.48億m³ (97.9%)
- 簡易水道事業：2.85億m³ (1.9%)
- 専用水道：0.26億m³ (0.2%)
- ▶ 一日最大給水量：44,462千m³
- ▶ 一日平均給水量：39,962千m³

18

一人一日最大給水量

令和3年度

- ▶ 一人一日最大給水量（全国平均）：366 L/人・日

- ・令和2年度：375 L/人・日
- ・平成27年度：386 L/人・日
- ・平成22年度：401 L/人・日
- ・平成16年度：433 L/人・日

- ▶ 上水道事業の規模別

- ・100万人以上：329 L/人・日
- ・50万～100万：353 L/人・日
- ・25万～50万：350 L/人・日
- ・10万～25万：362 L/人・日
- ・5万～10万：391 L/人・日
- ・3万～5万：429 L/人・日

19

給水における原単位

▶ 原単位とは

供給水量、施設の規模、施設設計などを決定する上で、基本となる量

実績に基づいて算出される。その地域の実績値

▶ 一人一日当たりの使用水量＝給水における原単位

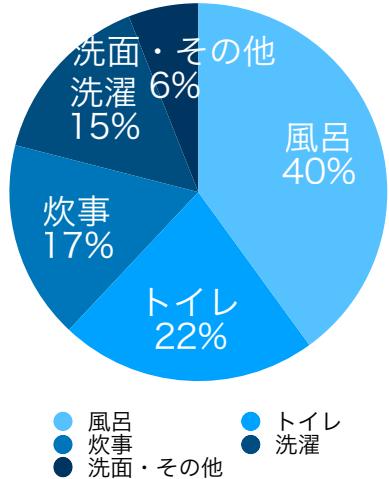
長所：便利、無難、変更可能で柔軟性に富む

短所：制約実績に基づいているので、眞の需要と一致しないおそれがある、動的問題に対応しづらい

20

家庭での水の使われ方

東京都水道局

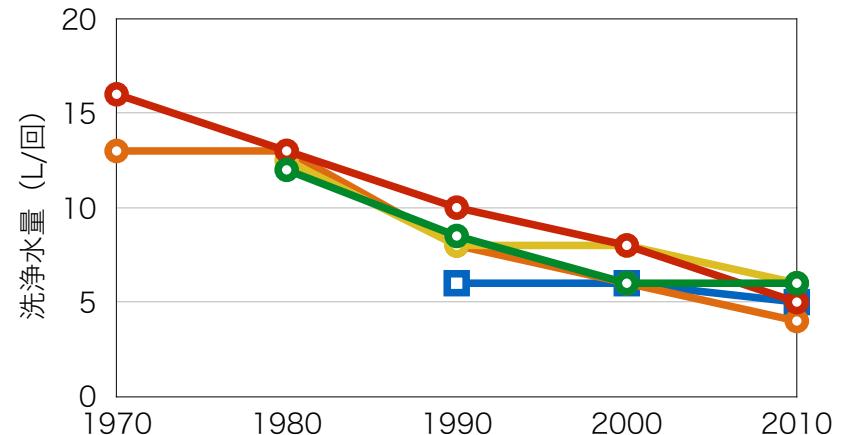


用途	使い方	使用量
洗面・手洗い	1分間流しっぱなし	12 L
歯磨き	30秒間流しっぱなし	6 L
食器洗い	5分間流しっぱなし	60 L
洗車	流しっぱなし	90 L
シャワー	3分間流しっぱなし	36 L

21

トイレ用の水

最新の便器は6L/回以下



©一般社団法人日本レストルーム工業会

22

水道施設設計

23

水道施設整備の基本的な考え方

▶ 面的・量的な施設整備 → 安全性・安定性の確保やサービス水準の向上といった質的な施設整備に、持続可能な水道事業の実現

1. 基本計画の策定と見直し
2. 非常時への対応
3. 費用の低減化
4. 維持管理の充実
5. 需要者への説明及び意向反映
6. 環境への配慮

24

水道施設設計

基本事項の決定

1. 計画年次

基本計画において対象となる期間、10~20年程度

2. 計画給水区域

計画年次までに配水管を布設し、給水しようとする区域であり、広域的な配慮

3. 計画給水人口

行政区域内人口の予測値を基に設定

4. 計画給水量

原則として用途別使用水量を基に決定する。

25

上水道計画における計画給水量

▶ 計画給水量の決定

水道の計画は、将来予測の確実性、施設設備の合理性をふまえた上で、15~20年後を目標として行われる。

▶ 原単位：一人一日当たりの使用水量

1) 人口予測：計画給水人口

2) 計画給水量：計画1日平均給水量 (m³/日)、計画1日最大給水量 (m³/日)、計画時間最大給水量 (m³/h)

26

人口予測

等差級数法： $P = P_0 + an$

等比級数法： $P = P_0(1 + r)^n$

べき曲線法： $P = P_0 + An^a$

ロジスティック曲線法： $P_n = \frac{P_S}{1 + e^{a-bt}}$

コーホート法

27

人口予測

ロジスティック曲線報

人口の増加に対する抵抗（増加に対する制約）は、人口の増加速度に比例すると仮定し、無限年後に飽和に達するという考えにより、過去の人口データにより将来の人口を予測する。

$$P_n = \frac{P_S}{1 + e^{a-bt}}$$

三点法：飽和人口 P_S 、定数 a, b の決定法。過去の三点のデータより決定する。

28

人口予測

コーホート法

▶ コーホート：

共通した因子を持ち、観察対象となる集団。同年、または同期間に出生した集団。

▶ 人口変動要因

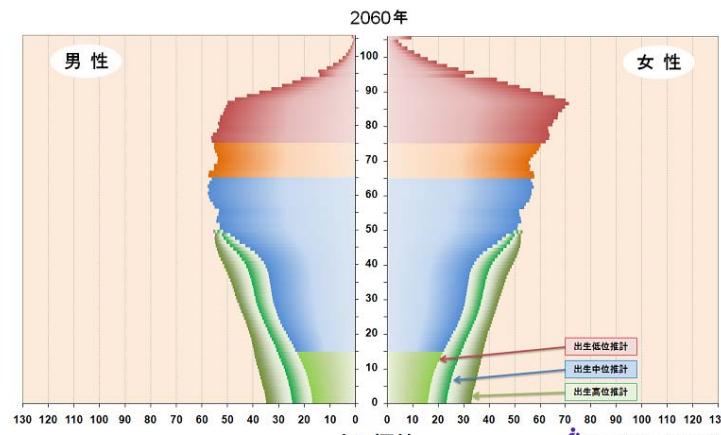
- 出生
- 死亡
- 移動

▶ 基準人口（国勢調査等）に基づき、将来の仮定値（出生、死亡、（国際）人口移動）を用いて、**将来人口**を推定する

29

将来の人口推定値

2010年-2060年



資料：1920～2010年：国勢調査、推計人口、2011年以降：「日本の将来推計人口（平成24年1月推計）」。

©国立社会保障・人口問題研究所ホームページ (<http://www.ipss.go.jp/>)

31

人口予測

コーホート法の要素

▶ 男女年齢別に分類された

- 基準人口
- 国勢調査
- 将来の出生率（および出生性比）の仮定
 - 女性コーホートのライフコースに沿って、出生発生過程をモデル化、総人口、日本人人口別、出生率の把握
- 将来の生残率の仮定
 - 生命表のリー・カーター・モデル、平均的な年齢別死亡率、死亡の一般的な水準（死亡指数）
- 将来の国際人口移動率（数）の仮定
 - 日本人の入国超過率、外国人の入国超過数

30

名古屋市【人口：基本指標】

名古屋市大都市圏の現況・課題等、2013

1. 基本指標

項目	名古屋市	愛知県	横浜市	大阪市
人口	2,263,894人	7,410,719人	3,688,773人	2,665,314人
高齢者人口比率	21.2%	20.30%	20.10%	22.67%
世帯数	1,019,381世帯	2,933,802世帯	1,583,889世帯	1,317,990世帯
核家族世帯	531,215世帯	1,684,702世帯	947,693世帯	611,570世帯
単独世帯	414,490世帯	923,424世帯	531,213世帯	622,010世帯
昼間人口	2,569,376人	7,520,876人	3,375,330人	3,538,576人
昼間人口比率	113.5%	101.49%	91.50%	132.76%
流入人口	495,614人	1,537,680人	410,298人	1,113,574人
流出人口	190,132人	1,427,523人	723,741人	240,312人
外国人登録者数	66,883人	201,268人	77,295人	119,499人
推計人口（平成47年）	2,053,073人	7,046,425人	3,566,897人	2,386,625人
人口増減率（平成22年⇒平成47年）	-9.3%	-4.92%	-3.30%	-10.46%
推計65歳以上人口比率（平成47年）	30.70%	29.51%	32.34%	31.99%

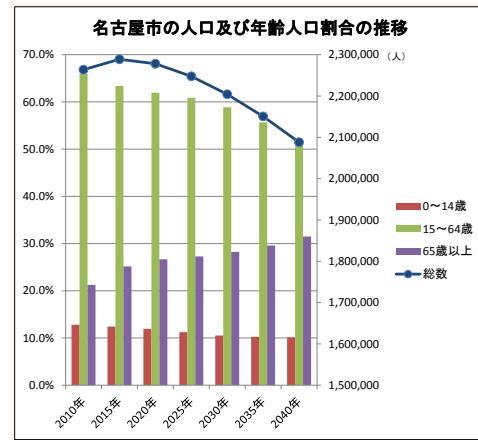
※「平成22年国勢調査」（総務省）

「日本の市区町村別将来推計人口（平成25年3月推計）」（国立社会保障・人口問題研究所発表）を基に作成

32

名古屋市

将来推計人口

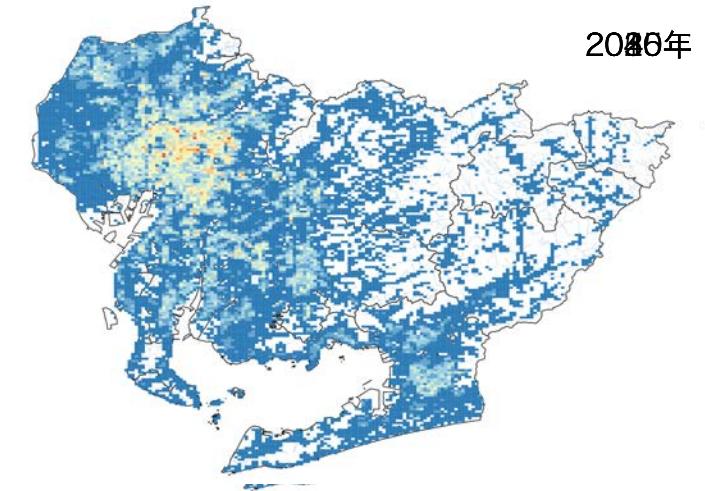


都道府県の75歳以上人口の増加率			
都道府県	2010年 人口 (万人)	2025年 推計人口 (万人)	増加率 (倍)
埼玉県	58.9	117.7	2.00
千葉県	56.3	108.2	1.92
神奈川県	79.4	148.5	1.87
大阪府	84.3	152.8	1.81
愛知県	66.0	116.6	1.77
東京都	123.4	197.7	1.60
鹿児島県	25.4	29.5	1.16
島根県	11.9	13.7	1.15
山形県	18.1	20.7	1.15
全国	1419.4	2178.6	1.53

33

愛知県将来人口推計

国土数値情報、2018



34

給水量原単位

▶ 単位当たりの給水量。

- 一日平均給水量
- 一人一日平均給水量
- 一人一日最大給水量
- 時間最大給水量

▶ 水需要予測では、各用途毎の、一人一日（一件一日）当たりの使用水量等

▶ 給水量を面積や生産額などの活動当たりに換算

35

給水量原単位

▶ 施設計画や財政計画の基本となる計画給水量を決定する際に用いる、単位当たりの給水量のこと。

- 計画一日平均給水量 = $\frac{\text{計画一日使用水量 (m}^3\text{)}}{\text{計画有効率}}$
- 計画一日最大給水量 = $\frac{\text{計画一日平均給水量 (m}^3/\text{日)}}{\text{計画負荷率}}$
- 計画一人一日平均給水量 = $\frac{\text{計画一日平均給水量 (m}^3/\text{日)}}{\text{計画給水人口 (人)}}$
- 計画一人一日最大給水量 = $\frac{\text{計画一日最大給水量 (m}^3/\text{日)}}{\text{計画給水人口 (人)}}$
- 計画時間最大給水量 = $\frac{K \times \text{計画一日最大給水量 (m}^3/\text{日)}}{24 \text{ (時/日)}}$

36

計画給水量の決定

- ▶一般家庭での1人1日当たりの平均使用量は200～250L/人・日
- ▶水道水は生活用水のほか、業務・営業用水、工場用水などの用途に使用される。

37

用途別標準分類表

厚生労働省、水道施設設計指針、2012

大分類	中分類	小分類	摘要
生活用水	一般家庭用	家事用	家事専用（一般住宅、共同住宅、共用栓）のもの
		家事兼営業用	家事専用のほか一般商店等営業用を兼ねるもの（店舗付き住宅等）
業務・営業用水	官公署用	官公署用	学校、病院、工場を除く国、地方公共団体等の機関
		公衆用	公衆便所、公衆水飲み栓、噴水等
		その他	官公署以外の非営利的施設で他の用途分類に属さないもの
	事務所用	学校用	学校、幼稚園、各種専門学校等
病院		病院、産院、診療所等	
事務所用		会社、その他法人、団体、個人の事務に使用されるもの	
工場用水	営業用	ホテル、旅館、百貨店、スーパー、一般営業用で住居を別にするもの	
		飲食店	結婚式場、サウナ、バス・タクシー会社の洗車用等
		公衆浴場用	劇場、娯楽場等
工場用	工場用	船舶給水、他水道への分水等	
その他	その他	水道事業用水、水道メータ不感水量等	

38

世帯構成人員と一人一日使用水量

厚生労働省、水道施設設計指針、2012

都市	年度	1975	1980	1985	1990	1995	2000	2005	2010	備考
G市	世帯構成人員（人／世帯）	3.18	2.92	2.86	2.74	2.64	2.54	2.48	2.42	
	一人一日使用水量（L／人・日）	231	214	247	265	260	259	244	235	生活用原単位
	一人一日使用水量（L／人・日）	318	320	344	353	335	330	315	293	1人1日あたり有収水量
A市	世帯構成人員（人／世帯）	2.75	2.69	2.62	2.48	2.35	2.22	2.13	2.06	
	一人一日使用水量（L／人・日）	338	321	335	364	366	356	340	322	
B市	世帯構成人員（人／世帯）	3.06	2.82	2.70	2.50	2.36	2.21	2.10	2.02	
	一人一日使用水量（L／人・日）	193	206	228	263	266	259	254	253	
F市	世帯構成人員（人／世帯）	3.35	3.11	2.68	2.51	2.39	2.30	2.22	2.15	統計年報（市勢）
	一人一日使用水量（L／人・日）	—	—	—	—	—	264	248	238	統計年報（家事用・給水人口）
C市	世帯構成人員（人／世帯）	—	2.95	2.91	3.10	2.57	2.43	2.32	2.22	
	一人一日使用水量（L／人・日）	265	259	242	217	224	225	223	223	家事用原単位
D市	世帯構成人員（人／世帯）	2.77	2.72	2.68	2.55	2.41	2.33	2.24	2.16	給水人口・給水世帯
	一人一日使用水量（L／人・日）	128	159	178	194	202	205	204	205	
E市	世帯構成人員（人／世帯）	3.07	2.81	2.77	2.65	2.50	2.36	2.24	2.15	
	一人一日使用水量（L／人・日）	189	197	225	259	260	263	249	245	生活用原単位

都市	個人目的		世帯目的				備考
	入浴 (L/人・日)	水洗便所 (L/人・日)	手洗・洗面 (L/人・日)	風呂（注水） (L/世帯・日)	洗濯 (L/世帯・日)	台所 (L/世帯・日)	
E市	28	50	7.7	115	147	157	17
F市	85	43	—	259	208	170	29
G市	42	52.7	27	136.6	163.8	—	33
I市	40	31	30	160	180	129	—
H市	39	36	20	194	160	76	—
							54
							1995年度
							80
							1995年度

39

業態別原単位

厚生労働省、水道施設設計指針、2012

種別	業態	床面積当たり (L/m ² ・日)	序舎・事務所	学 校	病 院	ホ テ ル	飲 食 店	デパート	スーパーマーケット
		従業者（客）一人当たり (L/人・日)	127.0	40.0	—	—	57.8	—	—
	一床当たり (L/床・日)	—	—	—	1290	2002	—	—	—
	備 考	多少のテナントは含む	ブル用水除く 小・中・高等學校 職員+生徒当たり						

空気調和・衛生工学会編：空気調和・衛生工学便覧、第11版、Ⅲ巻、p.Ⅲ-77、80より抜粋して作成

40

計画一日平均給水量

▶ 有効率 = 有効水量/給水量

- 有効率は、水道施設及び給水装置を通して給水される水量が有効に使用されているかどうかを示す指標。
- 計画有効率は、今後の整備計画や漏水防止対策を反映

▶ 計画有収率 = 計画有効率 - 無収率

▶ 無収率 = 無収水量/給水量

▶ 計画一日平均給水量 = 計画一日平均使用水量/計画有収率

41

計画一日最大給水量

▶ 計画一日最大給水量 = 計画一日平均給水量/計画負荷率

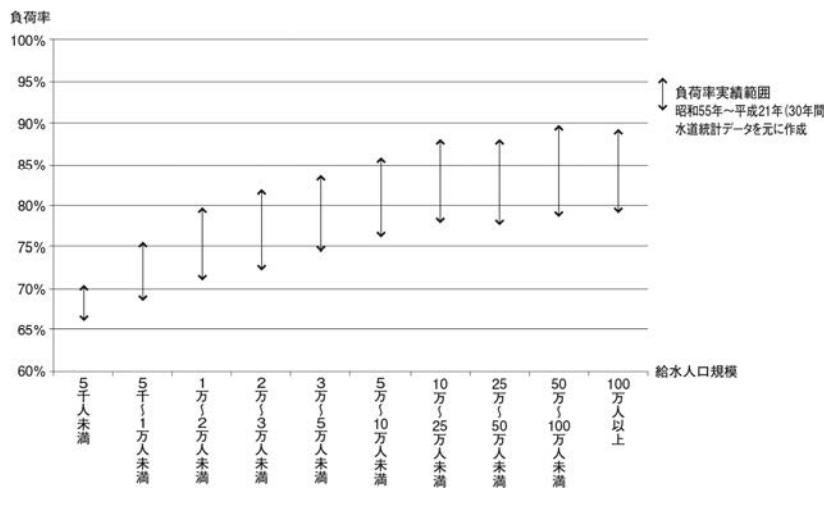
▶ 計画負荷率 :

- 負荷率は給水量の変動の大きさを示すものであり、都市の規模によって変化するほか、都市の性格、気象条件等によっても左右される。
- 一日最大給水量は、曜日・天候による水使用状況によって大きく影響を受けるため、過去の実績値や、気象、渇水等による変動条件にも十分留意

42

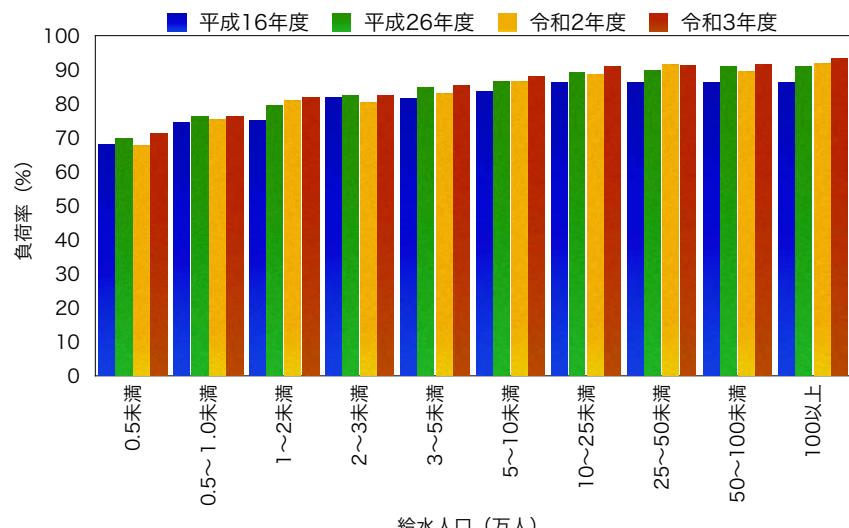
給水人口規模と負荷率

厚生労働省、水道施設設計指針、2012



43

上水道事業の規模別負荷率



44

水使用量の変動

3つの変動

► 年間変動：

一般に7月、8月、9月に使用量が多く、1月、2月に少ない。
変動幅は10~20%

► 日变化：

最大日は夏期の連続した多使用日のうちの1日として出現。
12月末日や行事のある日など特異日

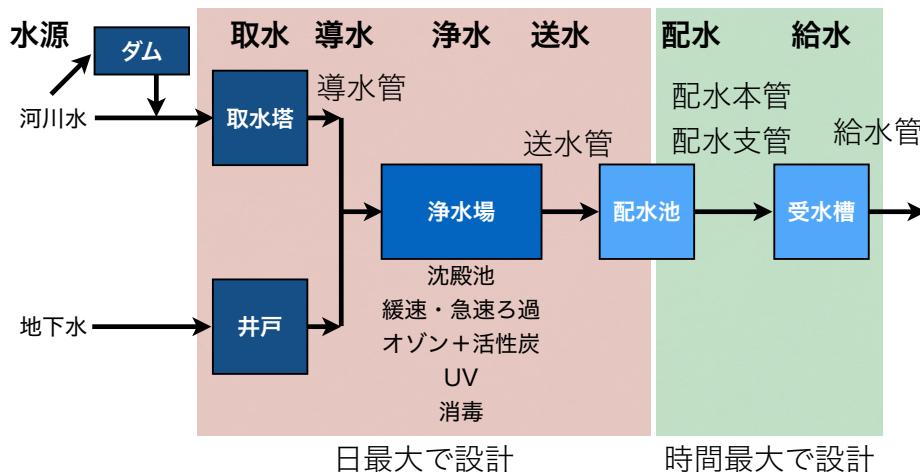
► 時間變化：

2山形。朝5時頃より使用開始、8~9時頃極大。16時頃まで減少、18~19時頃極大、朝まで減少。

MAKE NEW STANDARDS.
 東海國立
 大學機構 NAGOYA
 UNIVERSITY

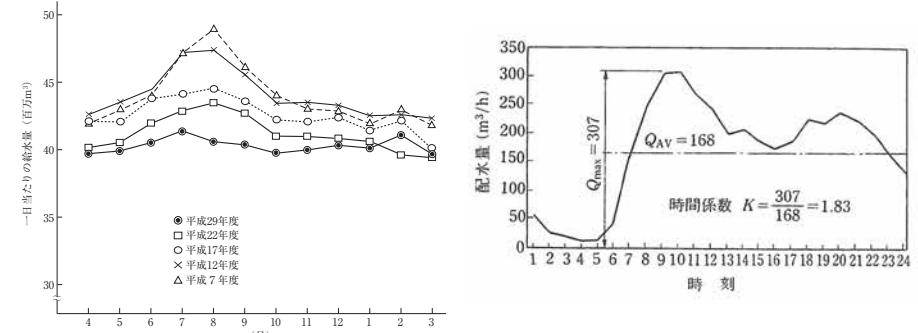
上水道システム

設計に用いる原単位



水使用量の変動

月変動、配水量の時間変動



©日本水道協会、2003

時間係数

- ▶ 時間平均給水量に対する時間最大給水量の比率を表すための係数で、K値。
 - ▶ 計画時間最大給水量 = 計画一日最大給水量/24×時間係数

一般に配水量の多い系統ほど値は小さい。また、住宅地の占める割合の高い系統ほど値は大きい。

小規模住宅地域：2.0~2.5

大規模住宅地域：15~18

商業地域・工業地域：13～14

消防水利

▶ 火災鎮圧のためには消防機械とともに不可欠。

人工水利：消火栓、防火水槽、プール

自然水利：河川、池、湖、沼、海等

▶ 水道事業者には、消火栓の設置が義務付けられている。（水道法24条1項）

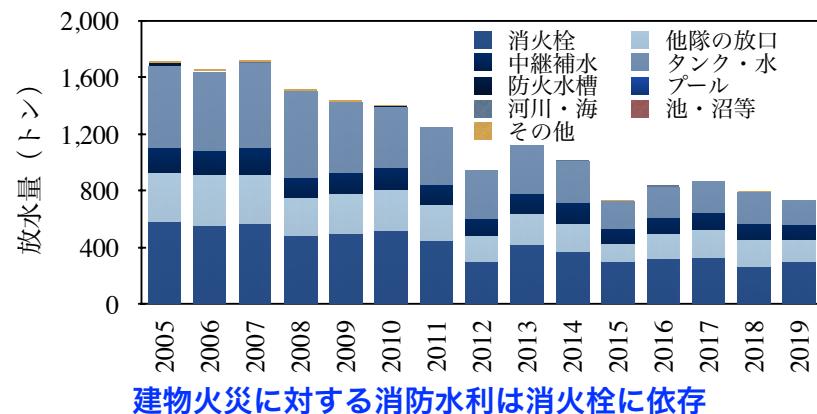
▶ 消防法20条1項の規定に基づいた「消防水利の基準」に従って設置

- ・常時貯水量40m³以上、取水可能量1m³/分以上で連続40分以上の給水能力

49

水利別放水量の推移

2005年～2019年



建物火災に対する消防水利は消火栓に依存

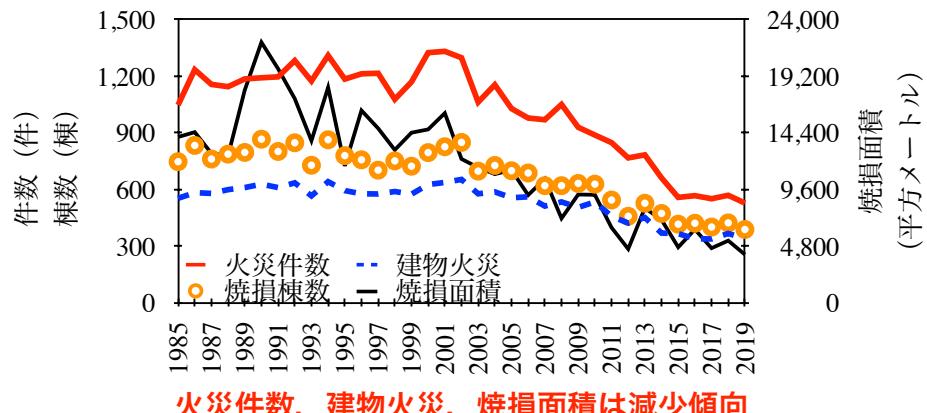
消火栓、他隊の放口、中継補水による放水量：63.5%～75.3%

消火栓使用率：85.1%～99.9%

51

名古屋市の火災件数、焼損面積

1985年以降の推移

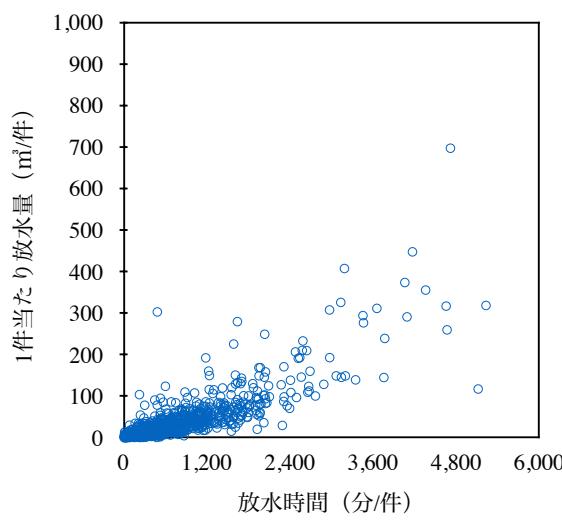


火災件数、建物火災、焼損面積は減少傾向

建物の防火性能向上、Siセンターコンロなど製品安全性向上
住宅用火災警報器の義務化、喫煙率の低下、防犯カメラ等普及

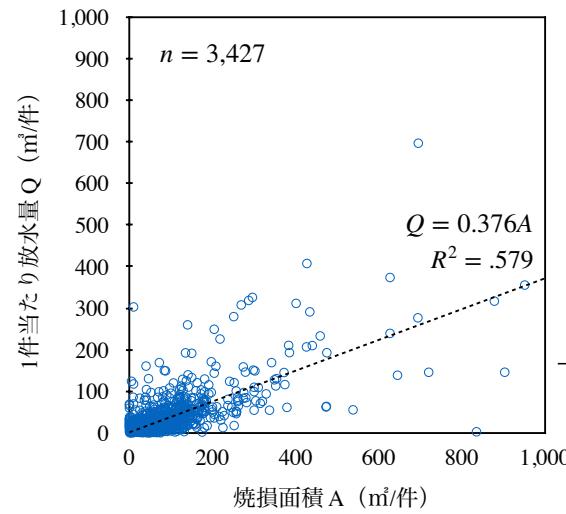
50

放水時間と放水量との散布図



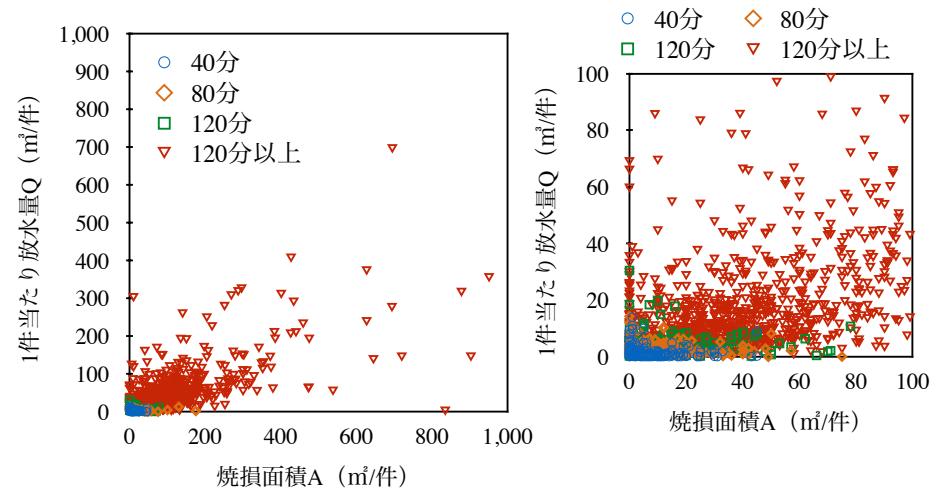
52

焼損面積と放水量



53

放水時間別の焼損面積と放水量



54

計画配水量

- ▶ 配水管管径決定の基礎となる水量
- ▶ 平時：計画時間最大給水量
- ▶ 火災時：消火用水量を別途計算し、計画1日最大給水量の1時間当たりの水量に加え、計画時間最大給水量と比較して大きい方を採用

消火用水量 + 計画1日最大給水量 / 24

計画時間最大給水量 (計画1日最大給水量 / 24 × K)

55

これからの水道施設設計

- ▶ 新水道ビジョン：「安全」「強靭」「持続」
- ▶ 変化する外部環境
 - ・ 人口減少社会
 - ・ 自然災害の頻発（東日本大震災、能登半島地震）
- ▶ リスク管理、維持管理の時代へ
 - ・ 水道システム機能評価
 - ・ 施設更新・改良（容易性と機能向上）
 - ・ ダウンサイ징

56

課題 第1回

TAICTにて提出（締切：4月19日24時）

1. 用語についての説明（2～3行程度）

- 1) 計画一日平均給水量
- 2) 時間係数

2. これからwithコロナの社会となりつつある。

- 1) 水道事業体の給水量にCOVID-19の影響はあったか？なかつたか？その理由とともに述べよ。
- 2) 将来のあなたの水使用量はこれからどのように変化すると考えるか？