

隣接する町家の類焼可能性に関する研究 ～木造密集地における京町家の隣棟間隔に着目して～

立命館大学大学院 理工学研究科

環境都市専攻 都市システム工学コース

防災まちづくり研究室 博士前期課程1回生 竹内理登

研究の背景：京都の京町家の課題

【京町家年間700～800軒の減少※1）】

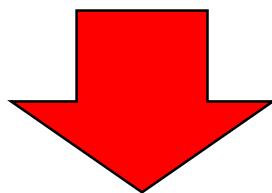
保全・継承を阻害する要因

- ・人口減少
- ・相続問題
- ・維持管理の難しさ
- ・観光客の増加に伴う宿泊需要の増加ect.

京町家のならでの要因

増改築の際、現行の建築基準法では違法建築と見なされる可能性がある。※1)

一方で・・・



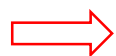
京町家では「減災の知恵」※2）と呼ばれる防災資源が時代と共に継承されてきた

※1)京都市.京都市京町家保全・継承推進計画.京都市京町家保全・継承推進計画,2019年2月,78p.

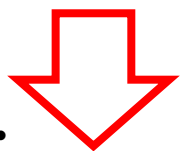
※2)大窪健之:「歴史に学ぶ減災の知恵」、2012.6

研究の背景：課題への解決策

京町家には数多くの防火資源が存在する。



新たに潜在的な防火資源を仮説し、立証していく。



仮説として・・・

「京町家の連続した町並み」

軒が連なることは、その街区の延焼抑止と関連がある可能性がある



写真1 京町家の連担の様子

研究の位置づけ：類似研究の整理

京町家の延焼抑止性能について

- 伝統町家における軸組木造土壁の載荷加熱実験※1)
- 木造土壁の防火性能に関する実験的研究※2)

“土壁” 単体での防火性能を評価した実験

しかし

連担に着目し“建物壁面間の熱移動”
を検討したものは多くない

※1)安井昇,長谷見雄二,馬屋原敦,他13名.伝統町家における軸組木造土壁の載荷加熱実験.日本建築学会技術報告集第18号,2003年12月,p139-142.

※2)清水真理子,長谷見雄二,安井昇,他7名.木造土壁の防火性能に関する実験的研究(その7).日本建築学会大学学術講演梗概集(北海道),2004年8月,p27-p28.

研究の目的

目的

京町家の潜在的な防火資源に着目し、仮説を立て立証

京町家の隣接した2軒の土壁を対象に延焼評価
数学的な伝熱計算を用いて京町家の建築様式を考慮

隣接した京町家の有効性を検証

科学的に説明できれば

両立の可能性

“町並みの保全”

+

“火災安全性能の向上”

京町家の概要

京町家とは

京町家条例より昭和25年以前の木造建築で伝統的な構造及び都市生活の中から生み出された形態又は意匠を有するもの

一文字瓦で水平ラインを強調
風通しに、通り庭、奥庭、坪庭を利用し、自然と共生した様子が覗える。妻壁（側面壁）には付帯部が存在しない。



写真2 鰻の寝床と呼ばれる京町家

防火資源の仮説に至るまで：防火資源の選定

京都の連続した町並みは先人たちが人とのふれあい、交流を目的としたものと言われている※1)

【京都の風土形成】

- ・個人の権利よりもまちとのつながりが重視される協調の精神の醸成※1)
- ・周囲に気を配りながら異なる価値観を認め合う※1)

【延焼防止効果】

- ・奥庭を隣家や裏の奥庭との連担に配慮し延焼防火帯を形成※2)
- ・奥庭の背割り部分に土蔵を連担させることで街区全体を囲むように延焼防火帯が形成※3)

京町家の連担は協調することで風土形成だけでなく延焼抑止効果を備えている

過去の研究※4) では、ある程度隙間のある方が延焼速度が速くなると指摘
京町家の側面壁を連担させることで延焼抑止効果がある
ことを仮説した

※1) 京都市 京都市京町家保全・継承推進計画、京都市京町家保全・継承推進計画、2019年2月、78p. ※4) 室崎益輝、大西一嘉、松本憲一、市街地拡大火災の延焼要因に関する研究、日本都市計画学会学術発表会論文集19号、1984年11月、p.373-378、
※2) 京都市、新町家のすすめ（京町家の知恵をいかした住宅を建てるためのガイドブック）、京都市都市計画局まち再生・創造推進室、2020年3月、52p.
※3) 特定非営利活動法人関西木造住文化研究会、京町家の木造伝統文化を活かして安心かつ快適に住み続けるための法令と共存可能な改修仕様の提示、77258078abc0176cd040929563af1a08.pdf (karth.org),

仮説の評価方法：評価の概要

壁面間の熱移動※1)

- ① 輻射熱（赤外線を媒介とする）
- ② 対流伝熱（風を媒介とする）

①と②の熱流束の合計値で評価
経過時間と壁面間隔で比較する

- ① 輻射熱 輻射熱シミュレーション※2)により算出
- ② 対流伝熱 流体力学に基づいた熱伝達率と温度差の積により算出

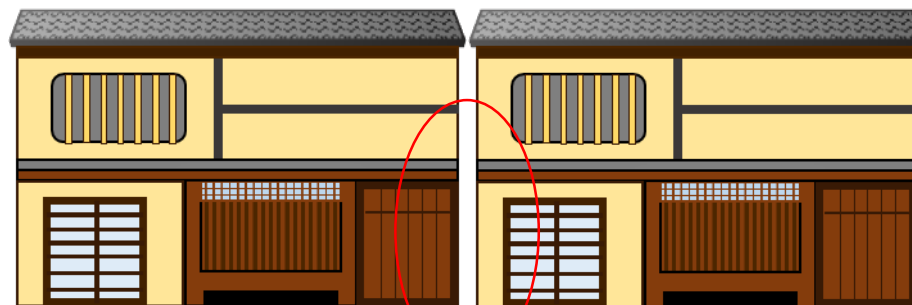


図1連担する京町家

壁面間に注目

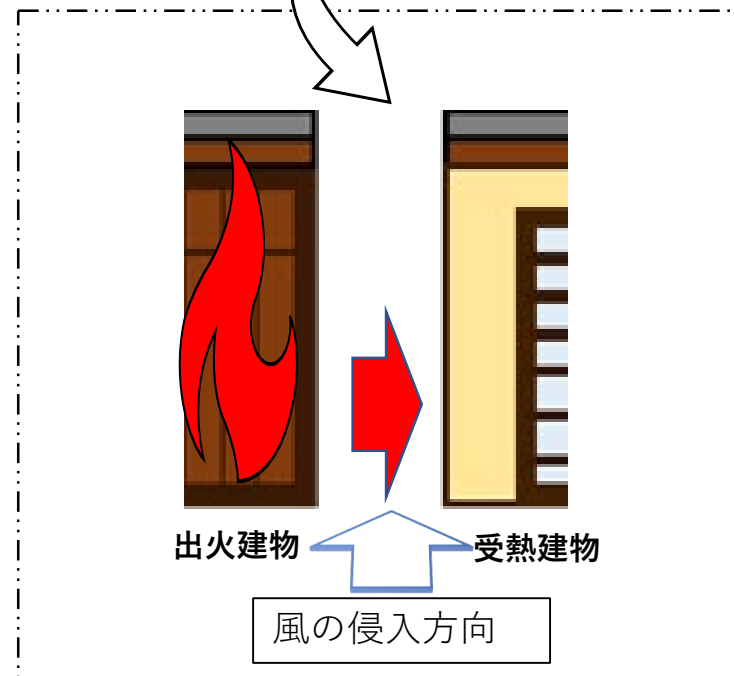


図2京町家の壁面間に注目した様子

※1)日本火災学会編、火災と建築、共立出版、2002年3月1日、352p.

※2)総務省消防庁、輻射熱シミュレーションツール、<https://www.fdma.go.jp/publication/simulatetool/simulatetool003.html>.

熱流束計算のモデル設定：防火資源のモデル化

土壁のモデル設定

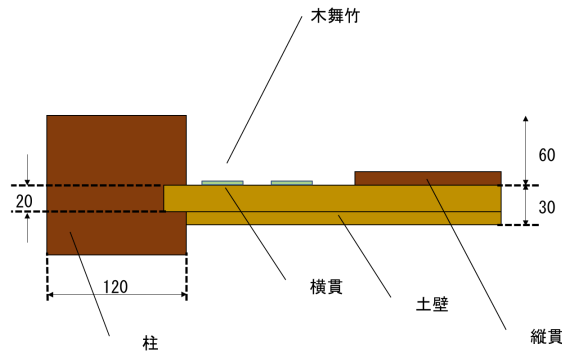


図3既往研究による土壁モデル※1)

輻射熱シミュレーションに落とし込むため

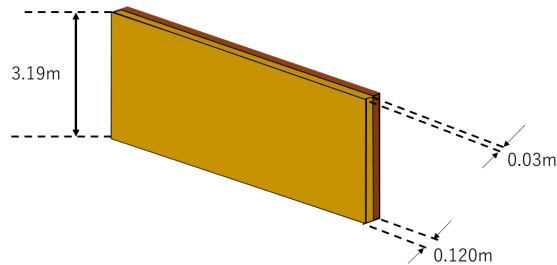


図4本研究による土壁モデル

京町家の寸法

京町家カルテ※2)より戸建て82軒を抽出
 奥行長さ：5%タイル値、平均値
 95%タイル値
 (奥行長さは、対流伝熱に影響を与えるため)

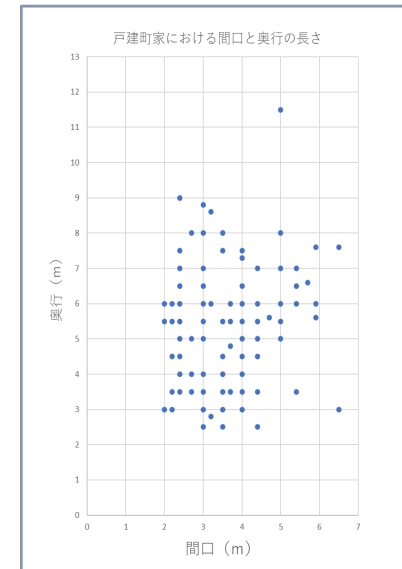


図5 京町家の間口と奥行の分布図

表1京町家の奥行長さ

奥行長さ (m)		
平均値	5%タイル値	95%タイル値
10.72	5.91	15.76

※1) 安井昇, 長谷見雄二, 馬屋原敬, 他13名. 伝統町家における軸組木造土壁の載荷加熱実験. 日本建築学会技術報告集第18号, 2003年12月, p139-142.

※2) 大場修. 京町家カルテが解く京都人が知らない京町家の世界. 淡交社, 2019年10月, 176p.

熱流束計算のモデル設定：出火・受熱対象物の設定

対象物のモデル値

表2 各物性値

出火建物	
物質の設定	木質系材料(京町家)
放射発散度 ^{※1)}	51kW/m ²
燃焼速度 ^{※2)}	1.316 × 10 ⁻⁵ m/s
火炎高さ ^{※1)}	3.19m
受熱対象物	
表面材質	土壁
密度 ^{※3)}	1280kg/m ³
比熱 ^{※3)}	820J/kg/K
吸収率	1

※1)出火建物の物性値は参考文献^{※1)}～^{※3)}を基に作成した。
 ※2)放射発散度は木クリブの値^{※1)}を参照し算出した。
 ※3)受熱対象物の土壁の吸収率は安全側に考慮した

気象条件^{※4)}の設定

- 風速：過去20年間の最大風速の95%タイル値と平均風速

(※対流伝熱に影響を与えると考えられるため)

- 気温：過去20年間の平均気温

表3 気象条件

		京都市内
気象観測所		京都
風速 (最多風向)	最大風速の 95%タイル	10.4m/s (北)
	平均風速	1.94m/s (北)
平均気温		16.2°C

※1) James G. Quintiere 著. 基礎火災現象原論. 共立出版, 2009年4月25日, 216p. ※4) 気象庁. “過去の気象データ・ダウンロード”. <https://www.data.jma.go.jp/gmd/risk/obsdl/index.php>,

※2) 成瀬友宏, 増田 秀昭, 中村 賢一, 他4名. 構造用製材の耐火性能 その1: スギとカラマツの炭化速度. 日本建築学会大会学術講演梗概集 (北海道), 2004年 8月, p11-p12.

※3) 山田雅士. 建築の結露-その原因対策. 井上書院, 1996年4月1日, 295p.

熱流束計算のモデル設定：輻射熱シミュレーションの概要

総務省消防庁より提供されている燃烧する火源からの熱的影響を簡易的に評価できるシミュレーション※1)

計算方法：輻射熱の数値シミュレーション結果をデータベースとして利用する詳細計算

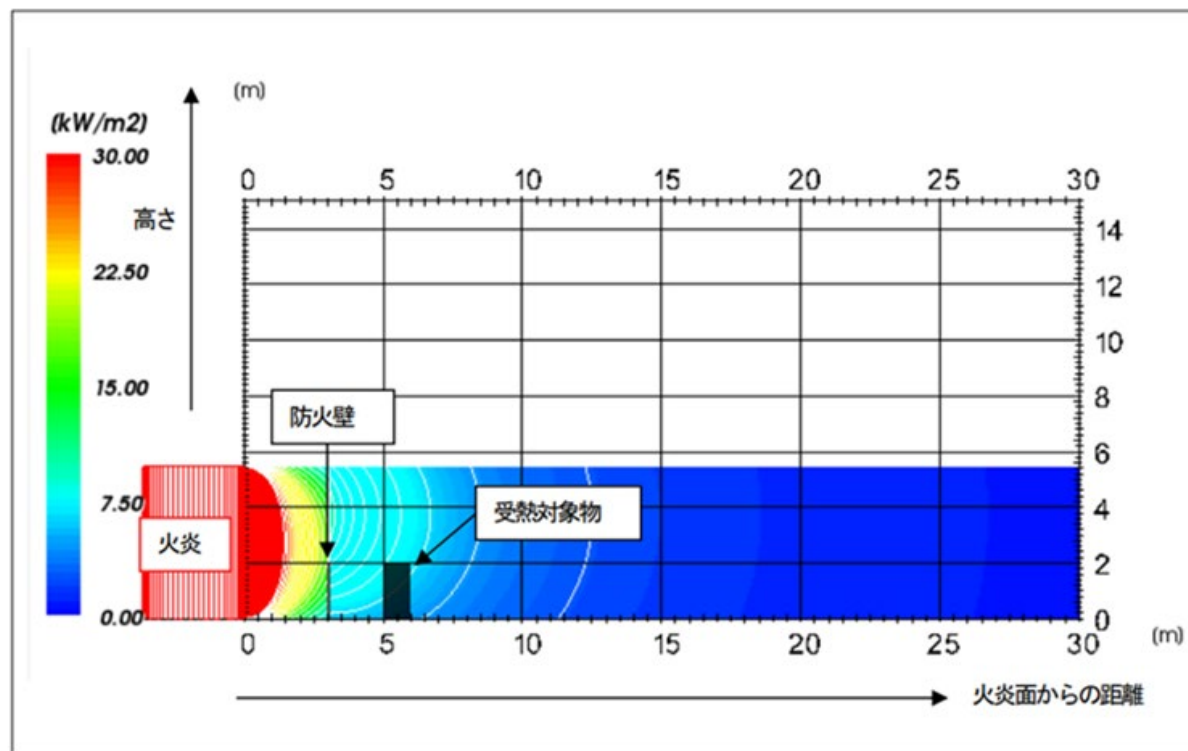


図6輻射熱シミュレーション分布の様子

熱流束計算のモデル設定：対流伝熱の概要

対流伝熱算出の流れ

① 輻射熱シミュレーションにより火源と壁面の温度差 ΔT を求める



② 流体力学による壁面間内風速 u の算出



③ 対流熱伝達率の算出



④ 対流による熱流束の算出

流体条件

- ・ 粘性流体
 - ・ 滑りなし条件 (壁表面の速度ゼロ)
 - ・ 層流、乱流を考慮
 - ・ 臨界レイノルズ数^{※1)}: 5×10^5
 - ・ 空気の温度を**膜温度**
- ※火災時の火源と壁面温度の平均値

前提条件

市街地外部風を想定している
→ 強制対流
温度変化、奥行長さを反映させるためヌセルト数、プラントル数による推定式^{※2)}^{※3)}を用いる

※1) 杉山弘, 明解入門流体力学第2版, 森北出版, 2020年11月, 208p.

※2) 日本火災学会編, 火災と建築, 共立出版, 2002年3月1日, 352p.

※3) CATTech.LAB.Science.Tools. <https://cattech-lab.com/science-tools/ht-forced/>

延焼防止性能の検証：平均風速時における総熱流束の変化

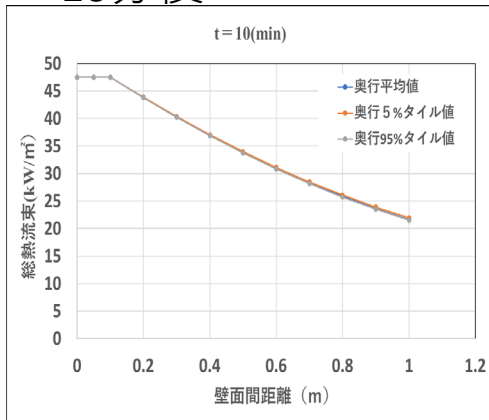
(1) 各奥行長さでの隣棟間隔と総熱流束の関係

計算条件

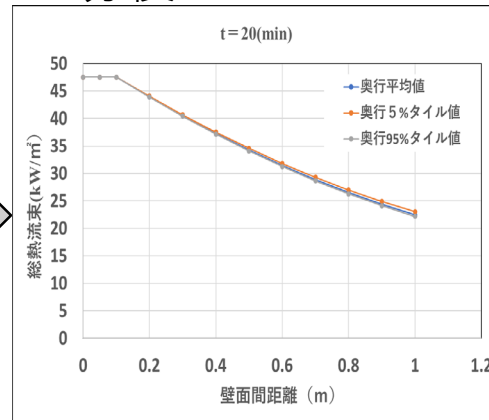
- 燃焼継続時間（計算時間）：0.5, 1~5(各1min刻み), 10, 20, 30min
- 壁面間隔：0, 0.05m, 0.1~1.0m（各0.1m刻み）

- すべてのグラフにおいて単調減少である。
- 壁面間距離、経過時間が長くなるほど奥行長さによる受熱量の差が生じる

10分後



20分後



30分後

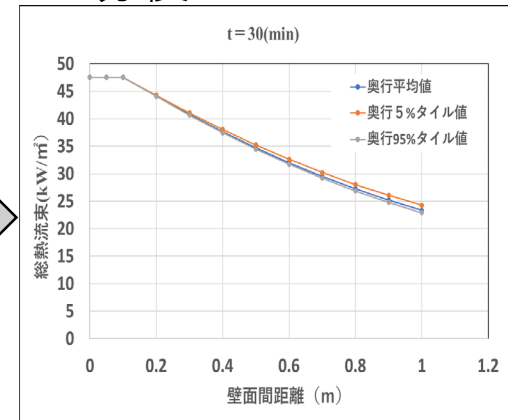


図7 総熱流束と壁面間距離の関係

延焼防止性能の検証：最大風速時における総熱流束の変化

(2) 各奥行長さでの隣棟間隔と総熱流束の関係

計算条件

- 燃焼継続時間（計算時間）：0.5, 1~5(各1minみ), 10, 20, 30min
- 壁面間隔：0, 0.05m, 0.1~1.0m（各0.1m刻み）

- ・ 基本的な傾向は平均風速と同様である。
しかし、経過時刻①10min, 奥行5%タイル値, 壁面間隔70cm
②20min, 奥行95%タイル値, 壁面間隔50cm
において熱流束が増加した箇所を確認した。

総熱流束の増加が見られた箇所

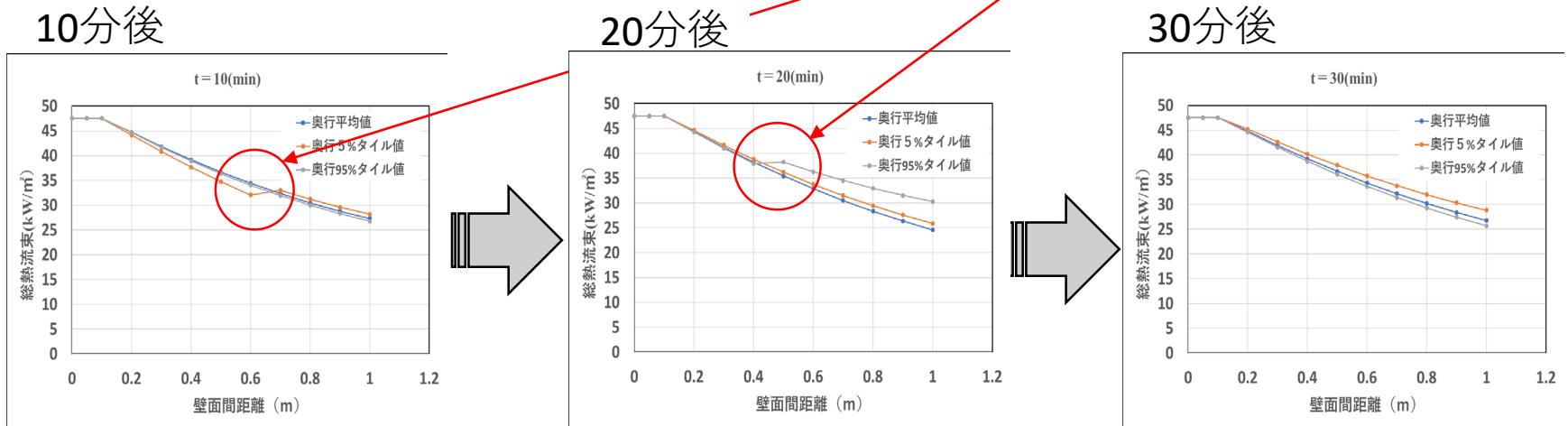
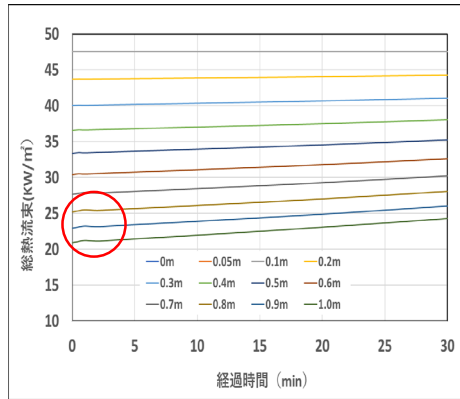


図8 総熱流束と壁面間距離の関係

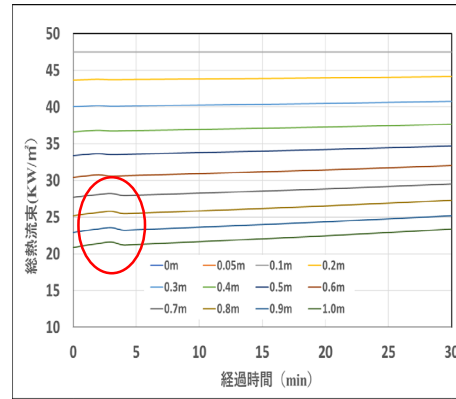
延焼防止性能の検証：各風速における総熱流束の変化

隣棟間隔での経過時間と総熱流束の関係

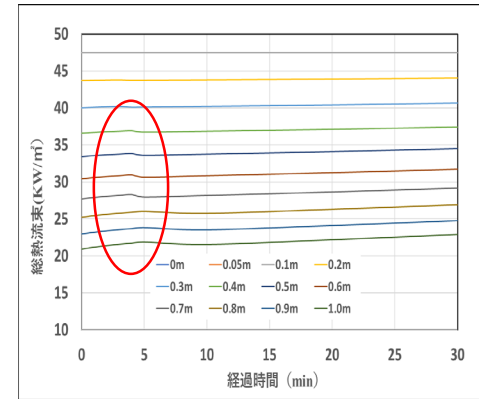
① 奥行長さ5%タイル値



② 奥行長さ平均値

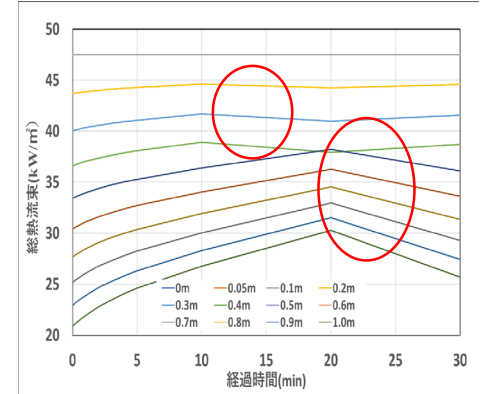
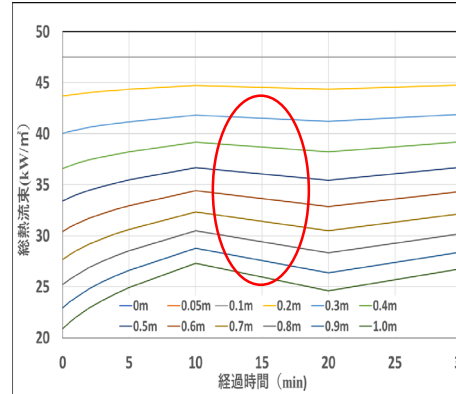
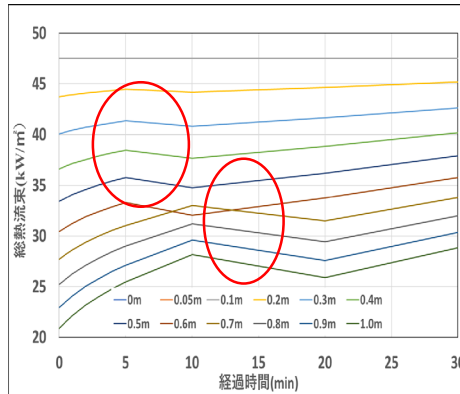


③ 奥行長さ95%タイル値



・ 平均風速の時

・ 最大風速の時



※赤丸は熱流束が減少を示した箇所

図9 経過時間と総熱流束の関係

隣棟間隔が広がるとグラフは平行に近づく
各奥行長さにおいて、経過時間によらずグラフは不規則な挙動を示す

延焼防止性能の検証：延焼防止効果の分析①

	壁面間距離(m)	
経過時間(min)	0.9	1
5	4.192	4.567
10	6.659	7.264
20	4.635	4.989
30	7.395	7.940

	壁面間距離(m)	
経過時間(min)	0.9	1
5	0.501	0.542
10	0.971	1.049
20	1.968	2.158
30	3.129	3.360

図10 対流伝熱量 (kW/m²)

最大風速 奥行5%タイル値			
		壁面間距離(m)	
		0.9	1
5	経過時間(min)		
	レイノルズ数	1096063	1127373
	プラントル数	0.71	0.71
	ヌセルト数	2244	2294
	熱伝達率	17.44	17.64
10	レイノルズ数	548973	568261
	プラントル数	0.79	0.78
	ヌセルト数	1335	1369
	熱伝達率	13.85	14.02
	20	レイノルズ数	236149
プラントル数		1.12	1.10
ヌセルト数		335	340
熱伝達率		4.82	4.82
30		レイノルズ数	143321
	プラントル数	1.62	1.62
	ヌセルト数	295	295
	熱伝達率	5.13	5.11

平均風速 奥行5%タイル値			
		壁面間距離(m)	
		0.9	1
5	経過時間(min)		
	レイノルズ数	204614	210574
	プラントル数	0.71	0.71
	ヌセルト数	268	272
	熱伝達率	2.08	2.09
10	レイノルズ数	100643	104452
	プラントル数	0.79	0.78
	ヌセルト数	195	198
	熱伝達率	2.02	2.03
	20	レイノルズ数	42500
プラントル数		1.10	1.10
ヌセルト数		147	147
熱伝達率		2.08	2.08
30		レイノルズ数	24550
	プラントル数	1.68	1.62
	ヌセルト数	124	125
	熱伝達率	2.17	2.16

※青字は乱流状態を示す 図11 各風速における数値

熱伝達率は減少しているが、対流伝熱は増加している

乱流消失

- 図8,図9において単調減少なのは輻射熱の減少量が対流伝熱の増加量を上回ったから。
- 図9において、時間が経過すると乱流は衰退する。そのため熱伝達率は減少するがそれ以上に温度差が拡大するため、対流伝熱は増加。
- 層流後は主に温度差の影響が強くて、増加する。(温度差は時間経過、隣棟間隔が長いほど増す)

同時刻、同壁面間距離において、流れの形態が同じ時場合奥行長さが支配的になるが、異なる場合は乱流のほうが熱伝達率の因子として強く出る。

延焼防止性能の検証：延焼防止効果の分析②

図で総熱流束の増加が見られた①,②において、当該時間より乱流に移行してる。⇒ 熱伝達率が2～3倍に急増

表4 奥行5%タイル値の時の各数値（最大風速時）

経過時間		壁面距離											
		0	0.05	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1
10(min)	レイノルズ数	—	247296	303317	370937	406279	434764	460249	484177	506882	528449	548973	568261
	プラントル数	—	0.884	0.884	0.861	0.847	0.834	0.823	0.813	0.804	0.796	0.789	0.783
	ヌセルト数	—	317	351	385	400	412	422	431	1260	1299	1335	1369
	熱伝達率	—	3.793	4.201	4.483	4.580	4.628	4.658	4.678	13.460	13.665	13.852	14.023
20(min)	レイノルズ数	—	102364	125553	145152	163825	178410	191341	203413	214836	225738	236149	246007
	プラントル数	—	1.506	1.506	1.416	1.359	1.307	1.261	1.219	1.183	1.151	1.122	1.097
	ヌセルト数	—	244	270	284	298	307	314	320	325	331	335	340
	熱伝達率	—	4.076	4.514	4.622	4.748	4.798	4.819	4.826	4.827	4.824	4.820	4.816

表5 奥行95%タイル値の時の各数値（最大風速時）

経過時間		壁面距離											
		0	0.05	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1
10(min)	レイノルズ数	—	652003	810897	948016	1031271	1106873	1178363	1248150	1313332	1374601	1432339	1486516
	プラントル数	—	0.884	0.884	0.861	0.847	0.834	0.823	0.813	0.804	0.796	0.789	0.783
	ヌセルト数	—	1591	1894	2128	2264	2384	2495	2601	2700	2791	2876	2955
	熱伝達率	—	7.124	8.482	9.276	9.684	10.013	10.296	10.558	10.783	10.982	11.160	11.320
20(min)	レイノルズ数	—	269886	335658	362721	419959	463278	500162	533989	565408	595134	623447	650033
	プラントル数	—	1.506	1.506	1.416	1.359	1.307	1.261	1.219	1.183	1.151	1.122	1.097
	ヌセルト数	—	395	441	449	477	494	1449	1510	1565	1615	1662	1706
	熱伝達率	—	2.476	2.761	2.733	2.844	2.892	8.324	8.520	8.679	8.817	8.939	9.047

※青字は乱流状態を示す

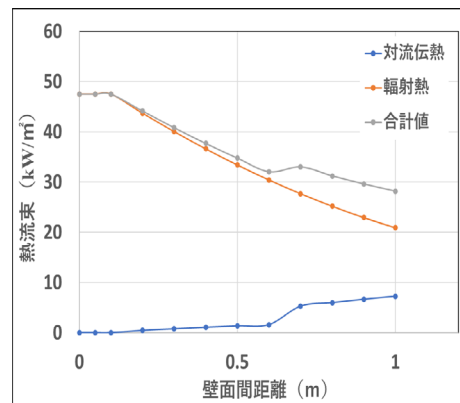


図12 ①の時の熱流束の各値

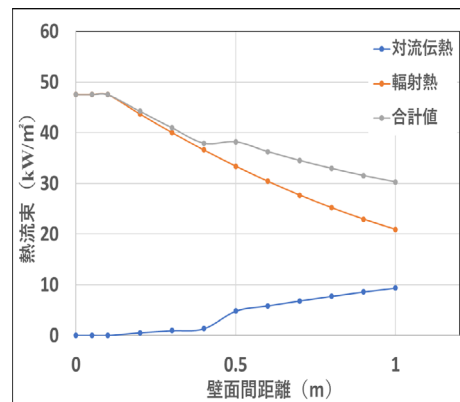


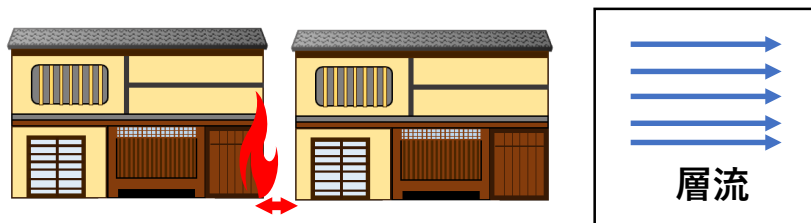
図13 ②の時の熱流束の各値

研究の成果

主要な成果を整理

隣接する2軒の側面壁間の熱移動に関して、

- 同一時刻で隣棟間隔が離れるほど層流から乱流への不可逆変化を示し、対流伝熱の急激な上昇が生じる。



--- 同一時刻で隣棟間隔のみ異なる ---



図14 連担する京町家

隣棟間隔が離れると...

空気密度 (大) + 壁面内風速 (大) + 粘性係数 (小) → 空気の流れが乱れやすくなる

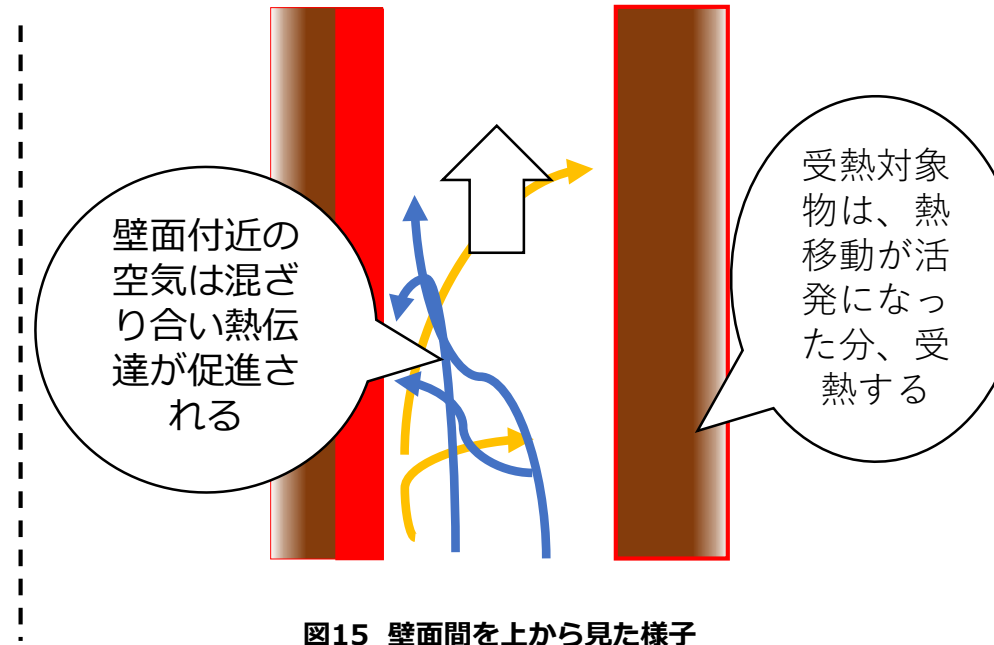


図15 壁面間を上から見た様子

研究の成果

主要な成果を整理

隣接する2軒の側面壁間の熱移動に関して、

- 同隣棟間隔の場合、一定時間経過後で対流伝熱が減少するのは、乱流の消失により熱伝達率が急激に減少したことが原因である。

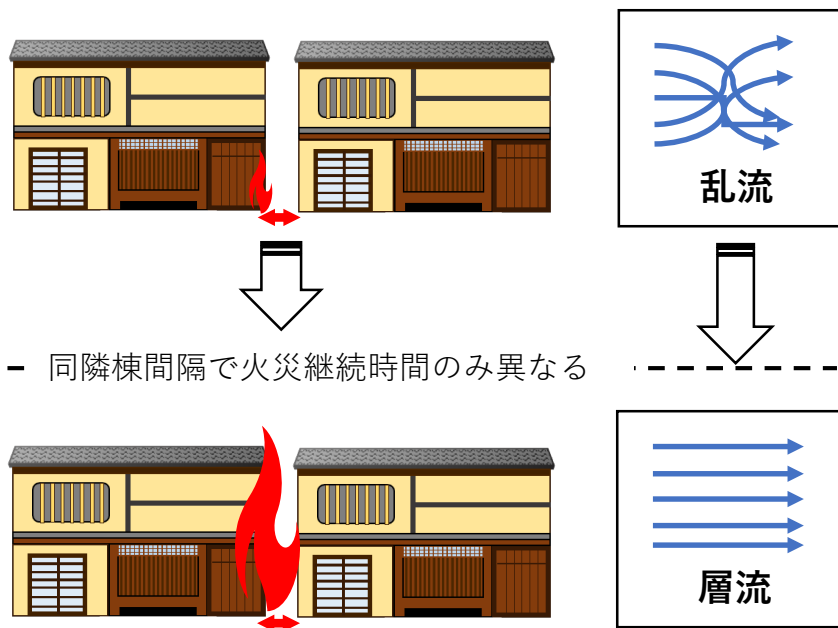


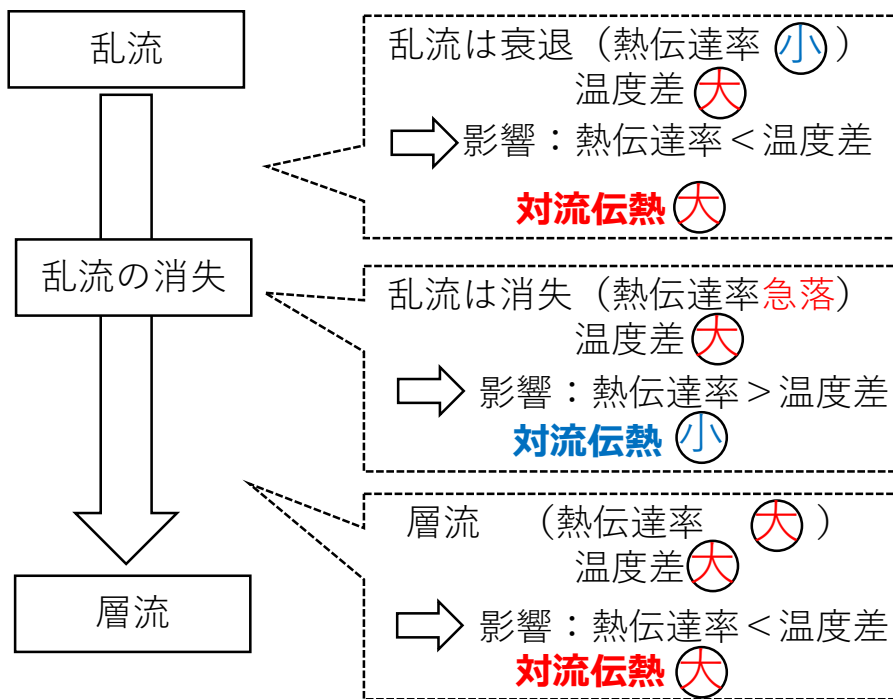
図16 連担する京町家

火災の継続時間が長くなると...

空気密度 (小) + 壁面内風速 (小) + 粘度 (大) → 空気の流れが穏やかになる

対流伝熱 $h_c = \text{熱伝達率} \times \text{温度差}$

例えるなら熱伝達率は熱移動の力の大きさ、温度差は動力エネルギー



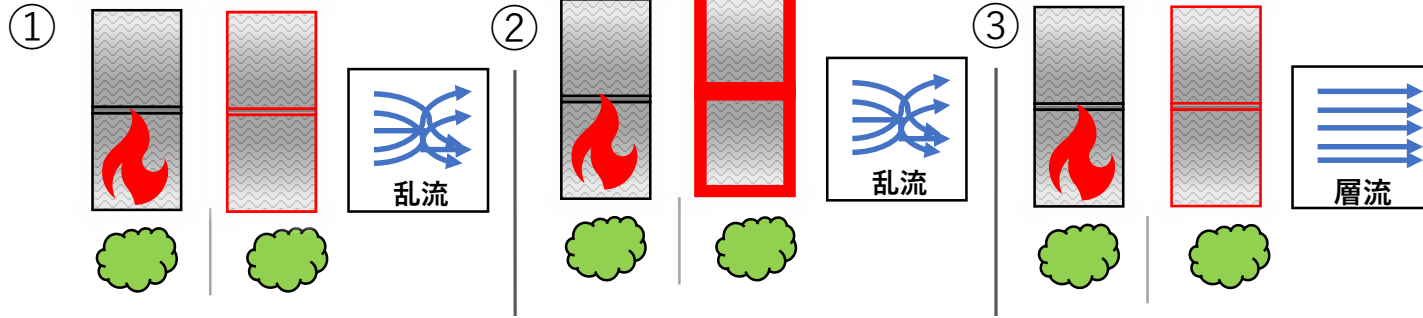
研究の成果

主要な成果を整理

隣接する2軒の側面壁間の熱移動に関して、

・奥行き長さのみ、条件を変えた時の対流伝熱量は、流れの形態が同じ時は奥行き長さ、異なるときは、乱流によるヌセルト数の上昇に左右される。

奥行きが長い



奥行きが短い

同一時刻、同隣棟間隔で奥行き長さのみ異なる

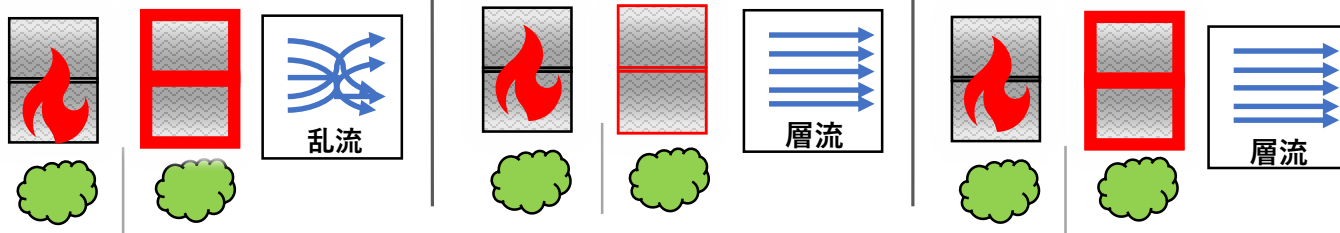


図17 京町家を上から見た様子

受熱する対流伝熱量

火災の進行

①→②→③

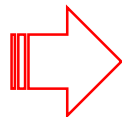
・流れの形態が同じ
→奥行きが短い方

・異なるとき
→乱流の方



京町家においては、乱流の発生の方が奥行を短くすることよりも、対流伝熱量を上昇させる

京町家を活かした提案



温度差を小さくし、乱流の消失時間を早めれば、少なくとも最大風速時では、奥行き長さが長い方が、受熱する伝熱量を低減することができると考える

成果に対する考察と課題

成果に対する考察

しかし仮説した防火資源を、工学的に検証することはできなかった。

⇒ 棄却理由としては、現状の京町家の隣棟間隔では、輻射熱が過大であり、壁面間隔を広げても、対流伝熱の割合は増加するが大幅な増加を見込むことはできなかった。

今後の課題

○京町家の隣家との熱移動、また制約が多い条件だったため、非常に限定的な熱流束計算になった。さらに計算モデルが京町家の建築様式を反映させたものであるため、普遍的には使えず他の建築様式と比較するのが難しい。

○対象を隣接する2棟ではなく、街区全体にしなければその性質上、現実とかけ離れてしまう可能性が考えられる。

⇒ 今後は伝統的なまちなみにおける複数の建物を対象とし、単純な壁間の熱移動ではなく建物内部も考慮し、街区全体で延焼抑止効果の検証を行う必要がある。

○防災資源のモデル化に関して実情とは乖離した表現になってしまった。

⇒ より現実性を考慮した模型型実験の必要性がある。

ご清聴ありがとうございました。

**隣接する町家の類焼可能性に関する研究
～木造密集地における京町家の隣棟間隔に着目して～**

防災まちづくり研究室

竹内理登