

資料1-2

資料の一部は委員  
限りのため削除し  
て掲載

## 実車を用いた消火実験について

令和7年12月4日  
消防庁予防課

# 水系消火設備の実験条件について

## 実験条件

○駐車場において想定される標準的な設置条件を選定（昨年度との比較は資料1-3、P.1参照）

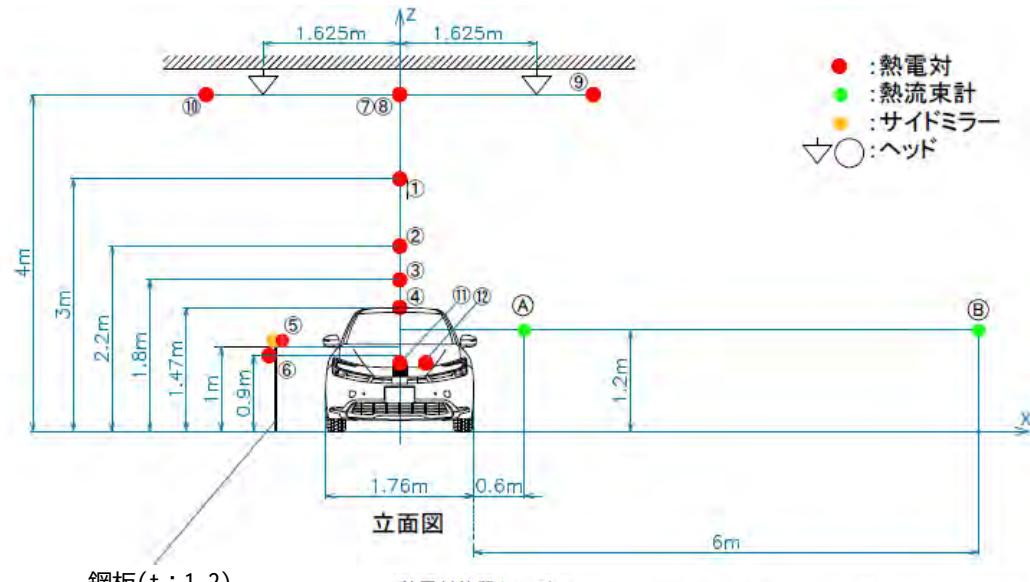
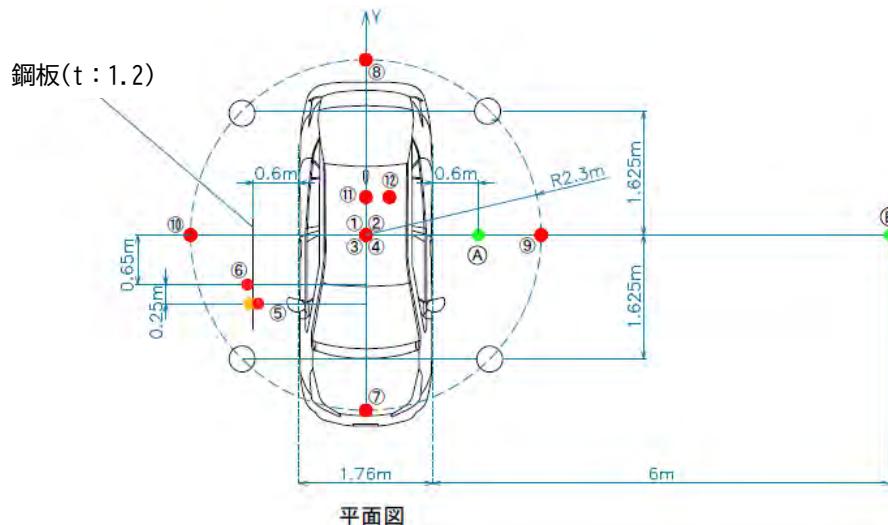
○ポイント：個々の閉鎖型ヘッドが作動して放水開始（泡は手動起動で4つのヘッドから同時に放射）、放水時間が20分（泡は10分）

項目	スプリンクラー設備（略称：SP）	閉鎖型水噴霧設備（略称：NF）	備考
ヘッド	閉鎖型スプリンクラーHEAD (標準型)	閉鎖型水噴霧HEAD (高天井用（一般的なもの）)	有効散水半径2.3m
ヘッド高さ	4.0m		天井高さ：4.15m
ヘッド間距離	3.25m		正方形配置における最大間隔
放水圧・流量	0.1MPa・80 L/min	0.35MPa・110 L/min	下限放水圧・流量
散水密度	7.5 L/min・m <sup>2</sup>	10 L/min・m <sup>2</sup>	（参考）昨年度の泡消火設備 3.7L/min・m <sup>2</sup>
感度種別	2種	1種相当（2種より高感度）	
放水開始時間	ヘッドの作動による		
放水時間	20分間		計測機器への影響等を考慮し、実験の継続が困難であると判断した場合は、その時点まで計測を実施する。
計測時間	放水開始20分後まで		
実験車両	一般的な普通乗用車（ハイブリッド車：2016年式）		リチウムイオン電池積載
着火	アルコール系固形燃料80 g		運転席に設置
燃料	燃料タンクは空		燃料タンク周辺の温度計測 実験後に燃料タンクの焼損状況を確認
換気	運転席側後部座席のドアガラスを20cm開放 (その他は全閉、自動車の空調は外気循環に設定) ※実際には火災進展しなかったため、100分後に助手席ドアを約20cm開放した		立ち消えが想定されない大きさ

# 実験のレイアウト及びタイムテーブル

## 実験レイアウト

※熱電対及び熱流束計の測定位置は、昨年度の実車を用いた泡消火設備の消火実験と同様



## 実施時期

- 閉鎖型水噴霧設備(NF)：8月5日
- スプリンクラー設備(SP)：9月30日

## タイムテーブル

時間 (分)	開始前	-1min	0min	100min	101min	121min
NF	イベント	換気装置起動	計測開始	点火	助手席ドア開放	放水開始
SP	イベント	換気装置起動	計測開始	点火	助手席ドア開放	放水停止計測終了

熱電対位置 (X,Y,Z) m  
(X=0): ①(0,0.3) ②(0,0.2,2) ③(0,0,1.8) ④(0,0,1.47) ⑦(0,-2.3,4) ⑧(0,0.2,3,4)

(Y=0): ⑨(2.3,0.4) ⑩(-2.3,0,4)

⑤(-1.48,-0.9,1.0) ⑥(-1.48,-0.65,0.9)

熱流束計 (X,Y,Z) m

(Y=0): A(1.48,0,1.2) B(6.88,0,1.2)

⑪ガソリンタンク位置、⑫リチウムイオン電池位置

# 閉鎖型水噴霧設備(NF)の消火実験

## 実験の様子

(令和7年8月5日実施)



着火前



着火後101分 (放水開始)



放水20分後 (放水停止)

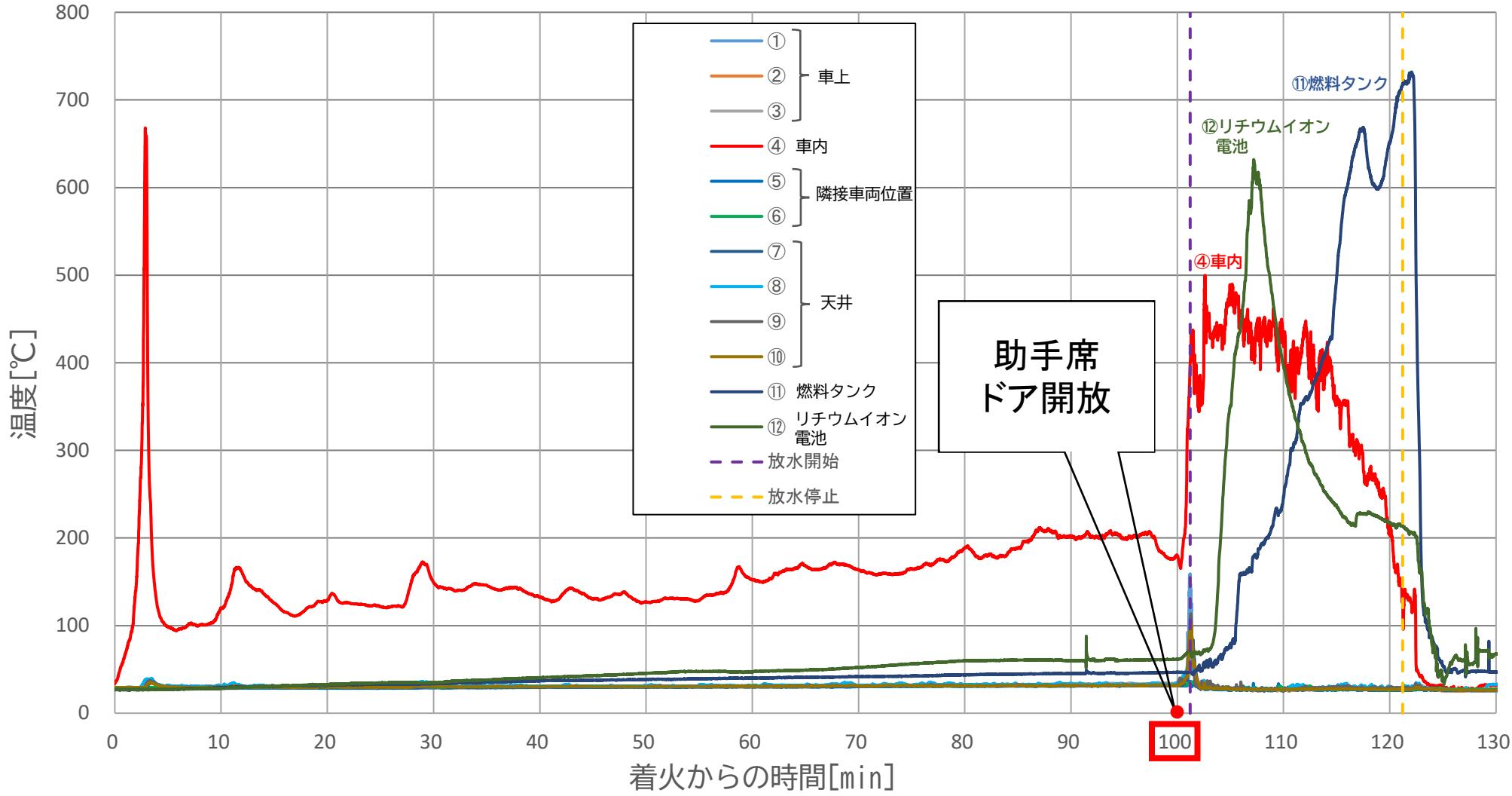


実験後 (強制消火)

※手動の消火栓により短時間に消火できていた

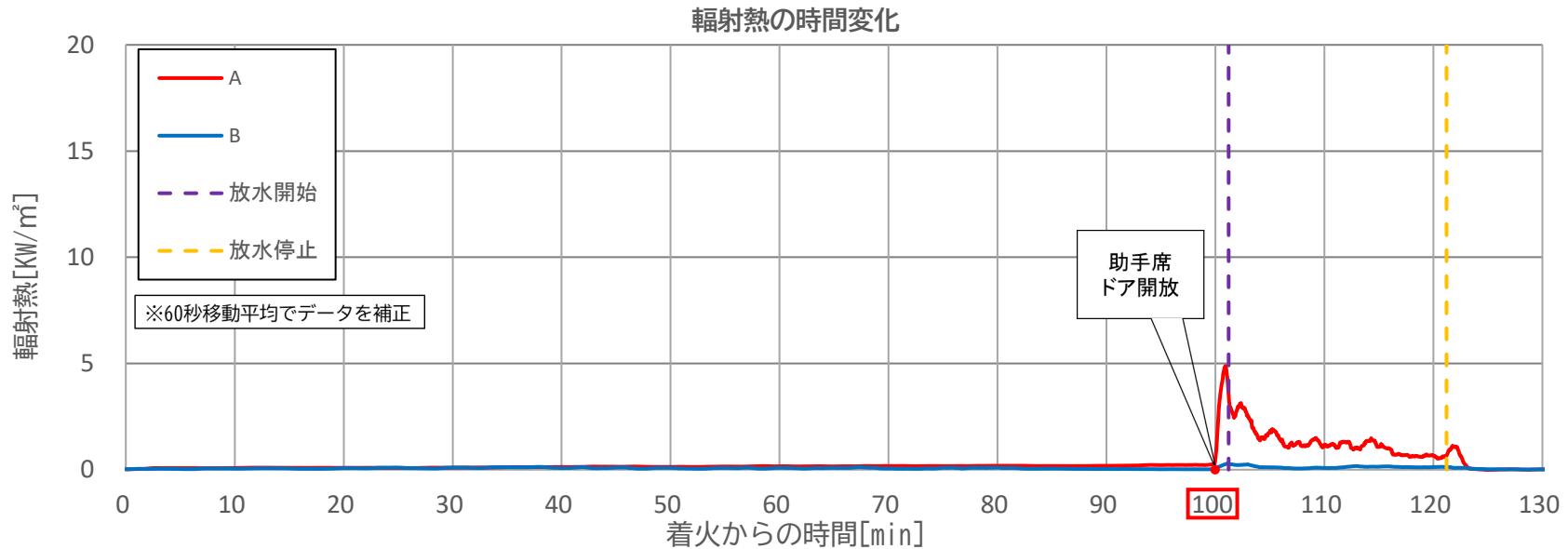
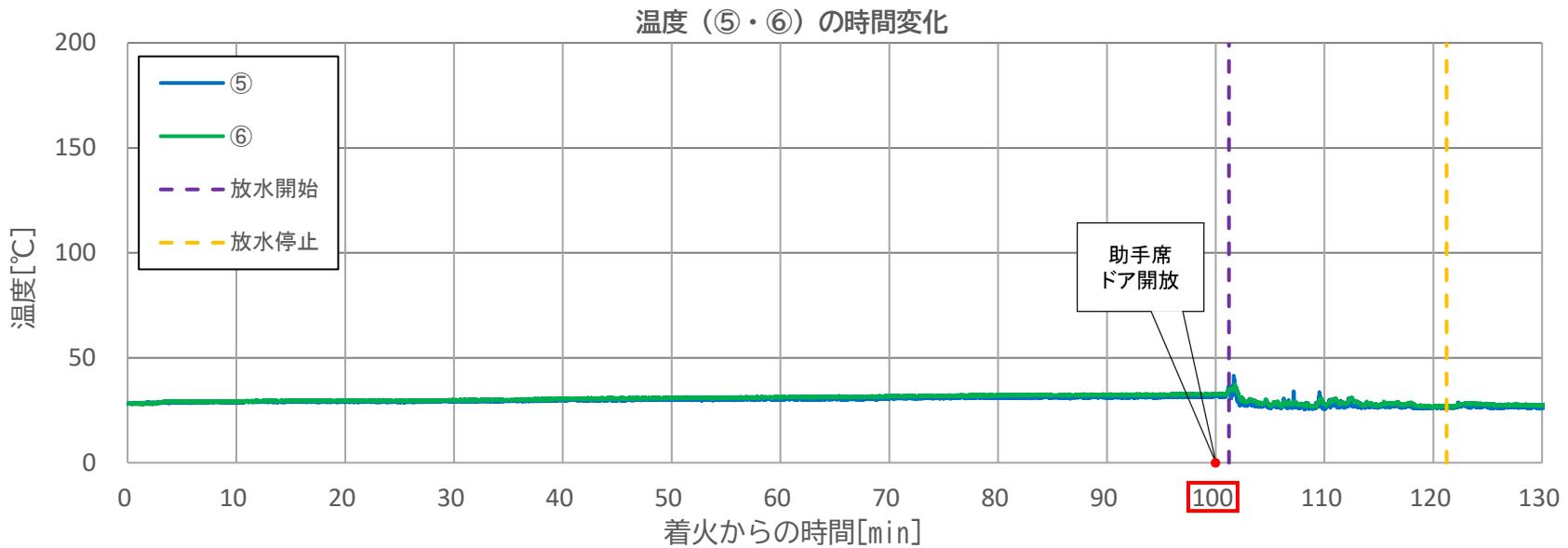
## NFの実験結果【温度】

## 温度の時間変化



- 今回の実験では、着火から1時間以上経過しても火災進展がなかったため、着火から100分を経過した時点で助手席の扉を約20cm開放したところ、急激に火災進展し閉鎖型ヘッドが作動し放水開始に至った。
  - 放水開始後は、車室内の温度上昇を抑制しているものの、燃焼は継続しており、車室内からリチウムイオン電池及び燃料タンク（燃料は空）へ、順に燃焼拡大し焼損していた。

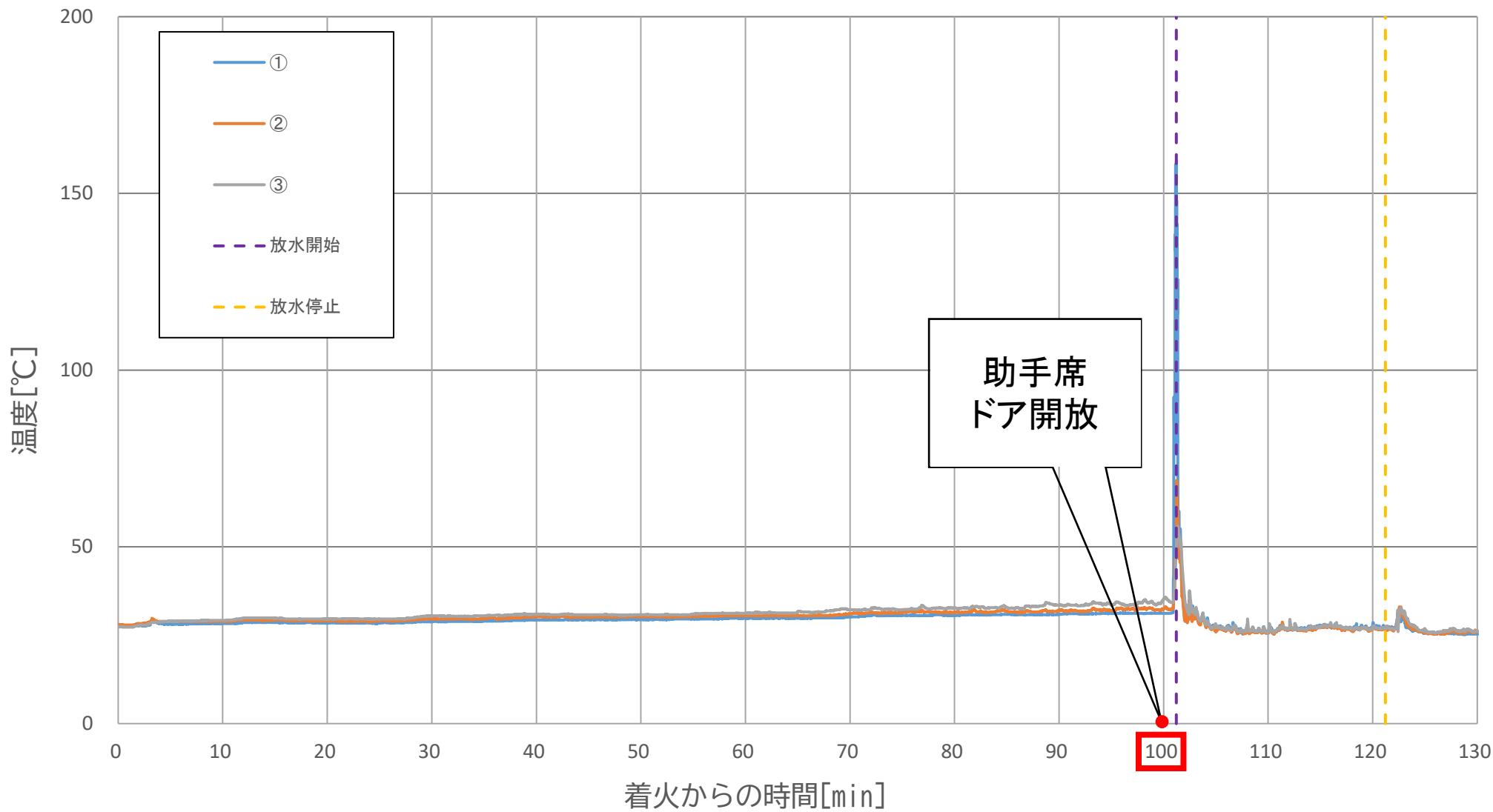
# NFの実験結果【隣接車両部分】



- 車両火災が進展しても、放水開始後は、温度及び輻射熱ともに低い状態で維持できており、隣接車両への延焼抑制性能が確認できた。

## NFの実験結果【車上温度】

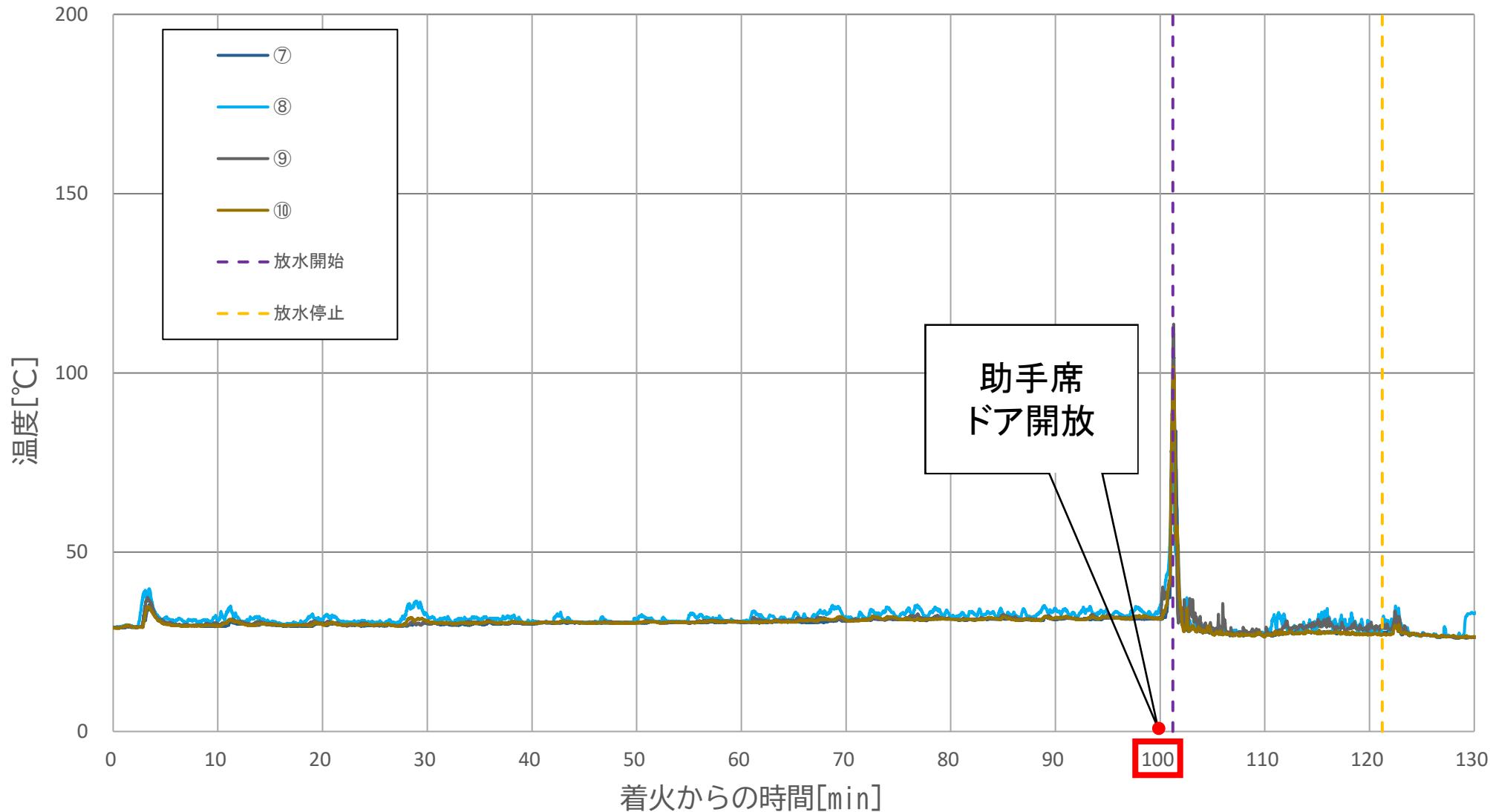
## 温度 (①~③) の時間変化



- 放水開始後は、温度が急激に低下しており、車両上部において車内からの放出熱を十分に冷却できていることが確認できた。

## NFの実験結果【天井温度】

## 温度 (7~10) の時間変化



- 放水開始後は、温度が急激に低下しており、実験室内空間の温度を十分に冷却できている。

# NFの実験結果【散水分布】

今回の実験では、②、③、④のヘッドが作動し、3つのヘッドから放水

## 【平面図】

観測室側

採水量(ml)											
①	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	②
A	210	490	705	780	815	805	860	870	795	710	
B	340	640	865	910	820	940	960	1005	925	800	
C	470	815	1075	1185	1135	1105	1170	1170	995	900	
D	545	975	1400	1570	1495	1435	1455	1290	1175	1170	
E	530	905	1410	1860	1985	1835	1610	1395	1285	1425	
F	450	705	1205	1885	1320	2125	1505	1240	1125	1290	
G	420	555	980	1680	2300	2175	1490	1085	1005	1160	
H	585	635	855	1285	1685	1795	1600	1245	1060	1135	
I	850	1055	1090	1030	1150	1490	1670	1540	1260	1115	
J	1160	1425	1355	1145	980	1400	1680	1550	1490	1300	
③											④

1マス :  $\sqrt{1000\text{cm}}$ 角で面積は $0.1\text{m}^2$

■ : 実験でのガラス割れ部分

## 【測定値】

項目	計測結果
ヘッド取付高さ/間隔	4.0m/3.25m
作動ヘッド	②・③・④
計測時間	1 min
放水圧力	0.45MPa
放水量	125L/min
総採水量	115, 330ml
平均散水密度	11.5l/m <sup>2</sup>

## 【設計値】

項目	設計値
放水圧力	0.35MPa
放水量	110l/min
平均散水密度	10l/min · m <sup>2</sup>

# NFの実験結果【散水分布】

仮に①～④のヘッドすべて作動し、4つのヘッドから放水した場合

【平面図】

観測室側

採水量(ml)											
①	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	②
A	1030	1040	1055	900	930	1165	1295	1220	940	865	
B	1070	1045	945	910	1070	1340	1350	1305	1185	1005	
C	1015	1020	1030	1165	1455	1595	1320	1280	1300	1115	
D	1030	1165	1370	1635	1850	1675	1450	1380	1250	1135	
E	1405	1225	1540	1760	2060	2030	1795	1460	1160	1100	
F	1005	1080	1540	1880	2085	2265	1950	1435	1060	860	
G	965	905	1300	1635	1840	1970	1625	1180	940	875	
H	900	805	1060	1370	1600	1550	1235	965	845	870	
I	800	795	915	1160	1295	1245	1055	965	910	950	
J	1180	910	920	1200	1225	1140	1045	980	1025	1160	
③											④

【測定値】

項目	計測結果
ヘッド取付高さ/間隔	4.0m/3.25m
作動ヘッド	①・②・③・④
計測時間	1 min
放水圧力	0.35MPa
放水量	110L/min
総採水量	123,905ml
平均散水密度	12.4l/m <sup>2</sup>

【設計値】

項目	設計値
放水圧力	0.35MPa
放水量	110l/min
平均散水密度	10l/min・m <sup>2</sup>

1マス： $\sqrt{1000\text{cm}}$ 角で面積は0.1m<sup>2</sup>。

# NFの実験結果【実験後の様子】

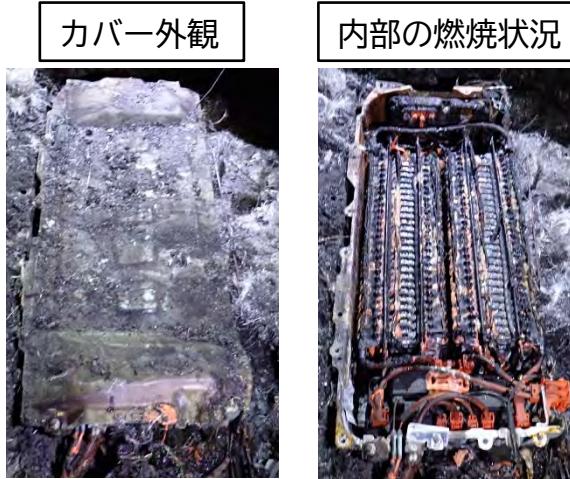
## 【実験後の車両状況】



## 【燃料タンクの燃焼状況】



## 【リチウムイオン電池の燃焼状況】



- 消火設備作動中には、フロントガラスの一部と両リアドアガラスしか割れず、それ以外のガラスは残っていた。
- 外周部の焼損程度は小さいが、座席からトランク部分にかけての車室内の燃焼が強く、燃料タンク（燃料は空の状態で実施）とリチウムイオン電池まで延焼している状態であった。

# スプリンクラー設備(SP)の消火実験

## 実験の様子

(令和7年9月30日実施)



着火前



着火後104分 (消火設備起動)



放水20分後 (放水停止)

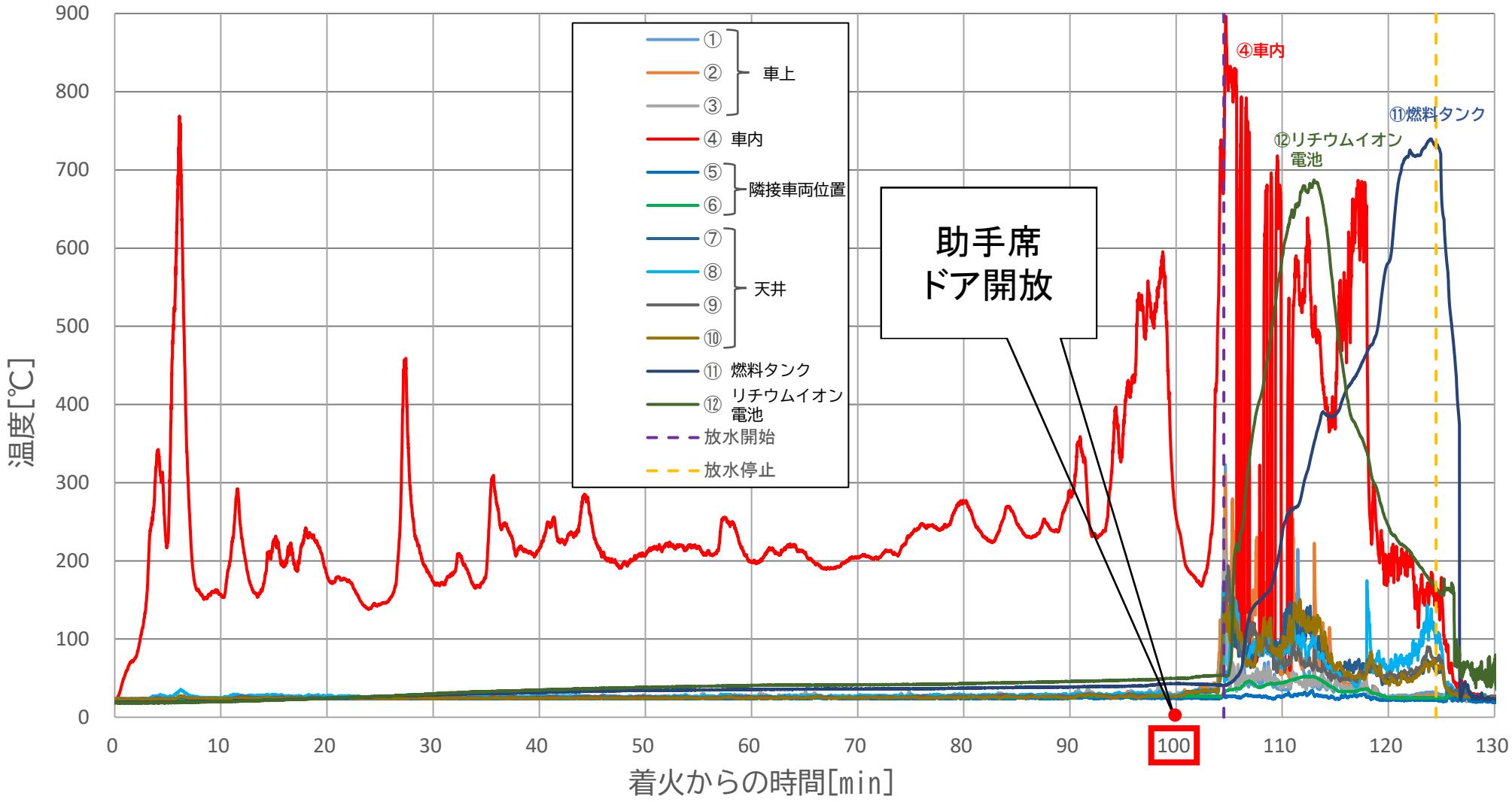


実験後 (強制消火)

※手動の消火栓により短時間に消火できていた

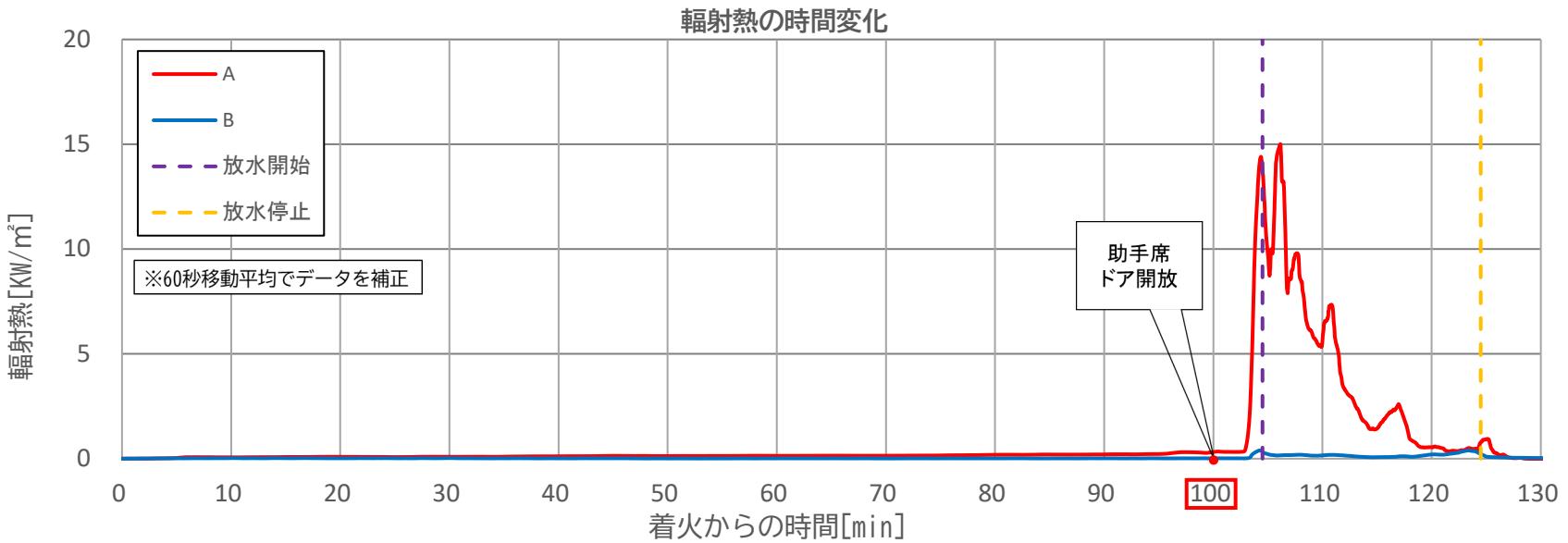
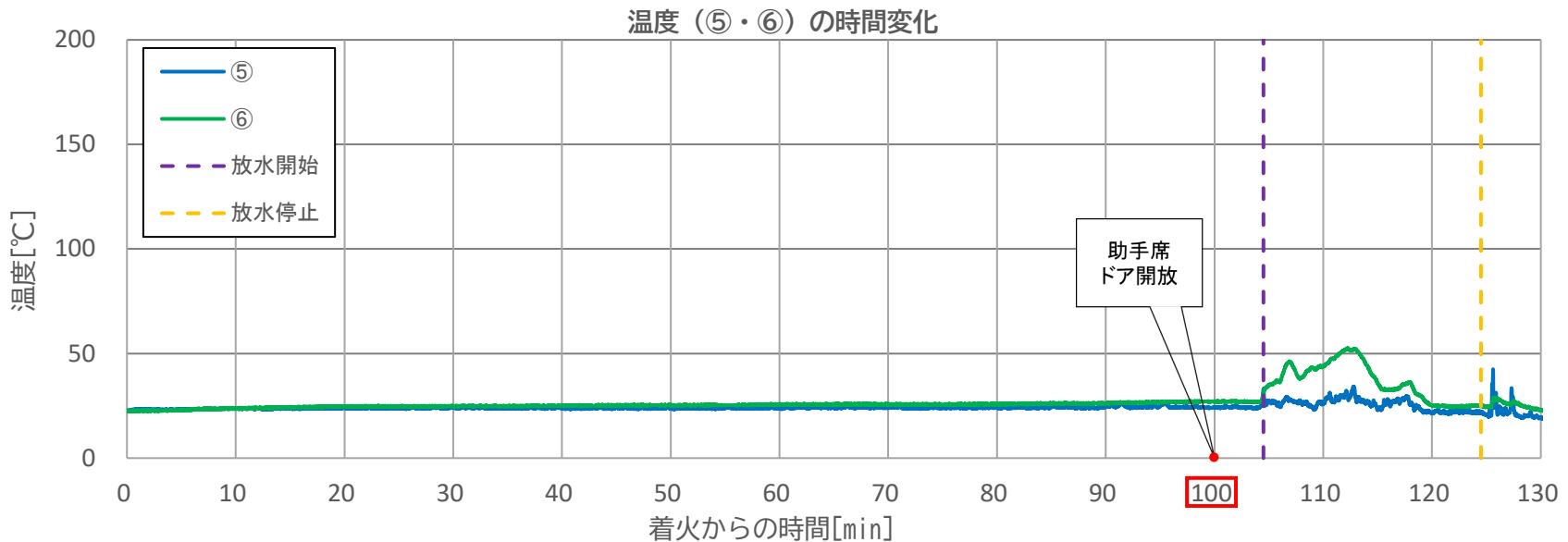
## SP実験結果【温度】

## 温度の時間変化



- 今回の実験では、着火から1時間以上経過しても火災進展がなかったため、着火から100分を経過した時点で助手席の扉を約20cm開放したところ、急激に火災進展し、スプリンクラーヘッドが作動し、放水開始に至った。
  - SPを用いた実験においても、放水開始後は、車室内の温度上昇を抑制しているものの、燃焼は継続しており、車室内からリチウムイオン電池及び燃料タンクへ、順に燃焼拡大し焼損した。

# SP実験結果【隣接車両温度】

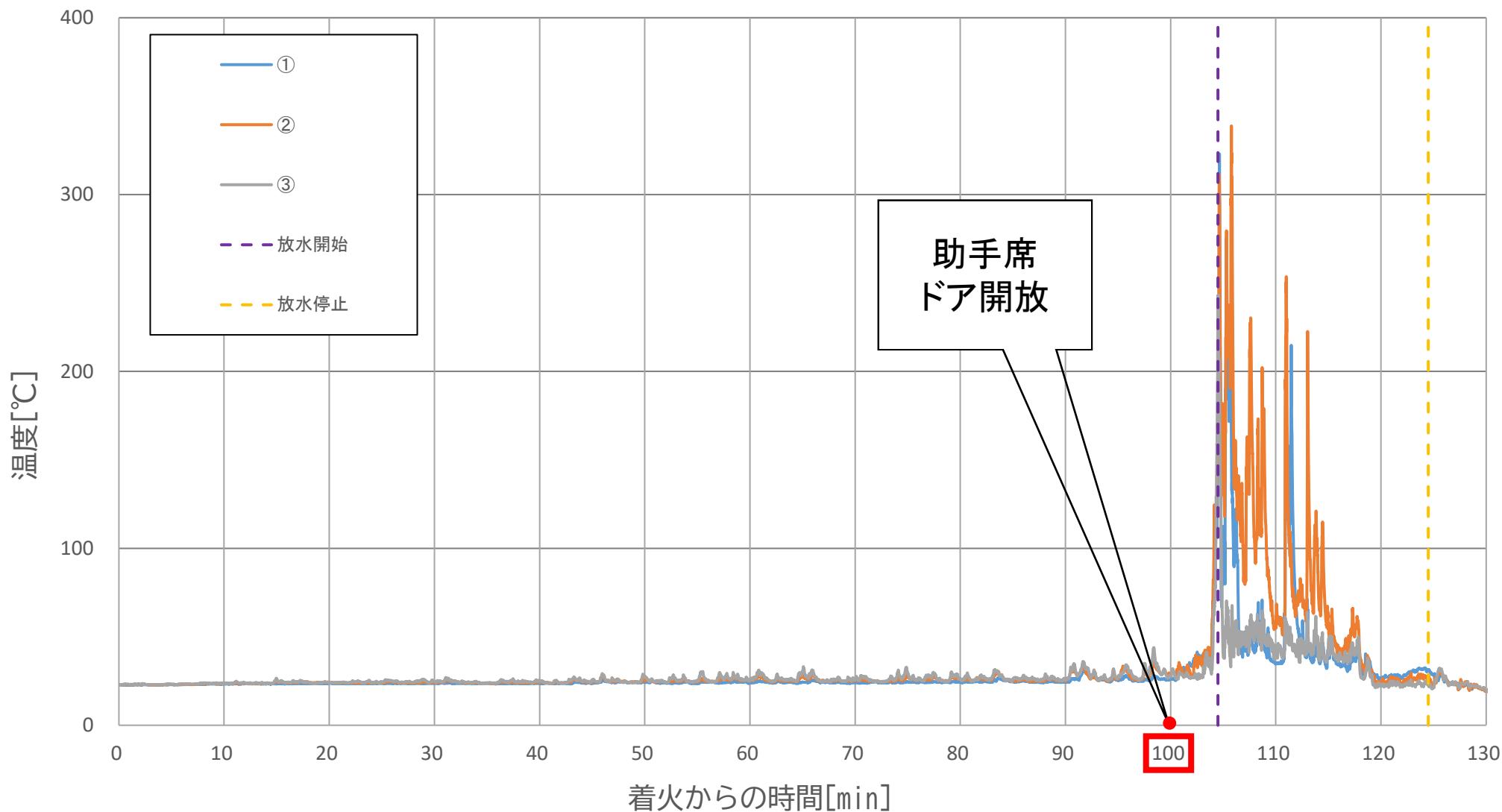


- 火災進展しても、放水開始後は、温度及び輻射熱ともに低い状態を維持できており、隣接車両への延焼抑制性能が確認できた。なお、NFと比較すると温度及び輻射熱ともに高くなっている。

※木片が引火するあるいはプラスチックチューブが溶ける最小エネルギー:12.5kW/m<sup>2</sup> (石油コンビナート防災アセスメント指針(消防庁))

# SP実験結果【車上温度】

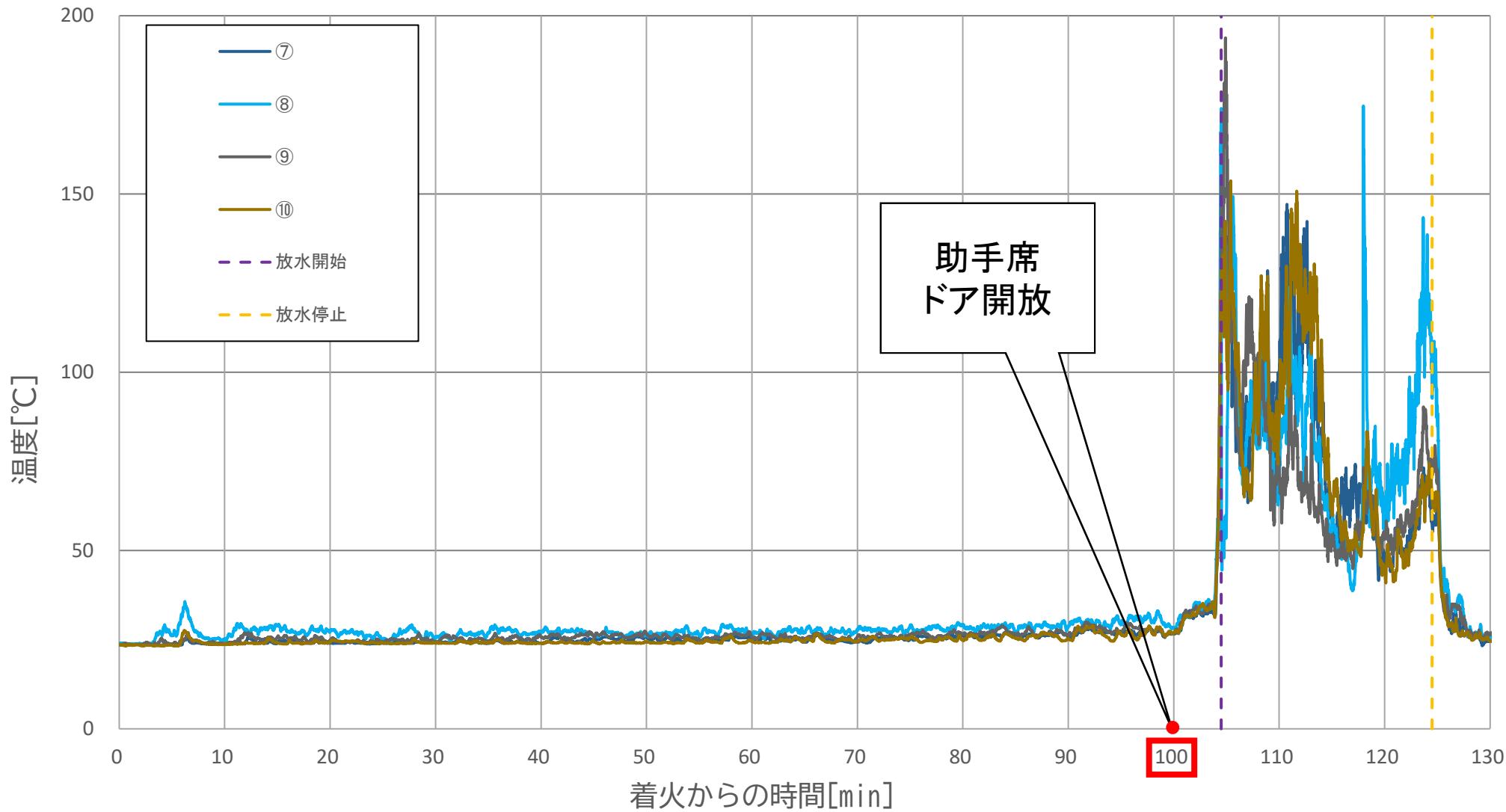
## 温度 (①~③) の時間変化



- 放水開始後は、温度上昇を抑制しているものの、車両からの放出熱を受けてNFと比較すると温度が高くなっている。

# SP実験結果【天井温度】

## 温度（⑦～⑩）の時間変化



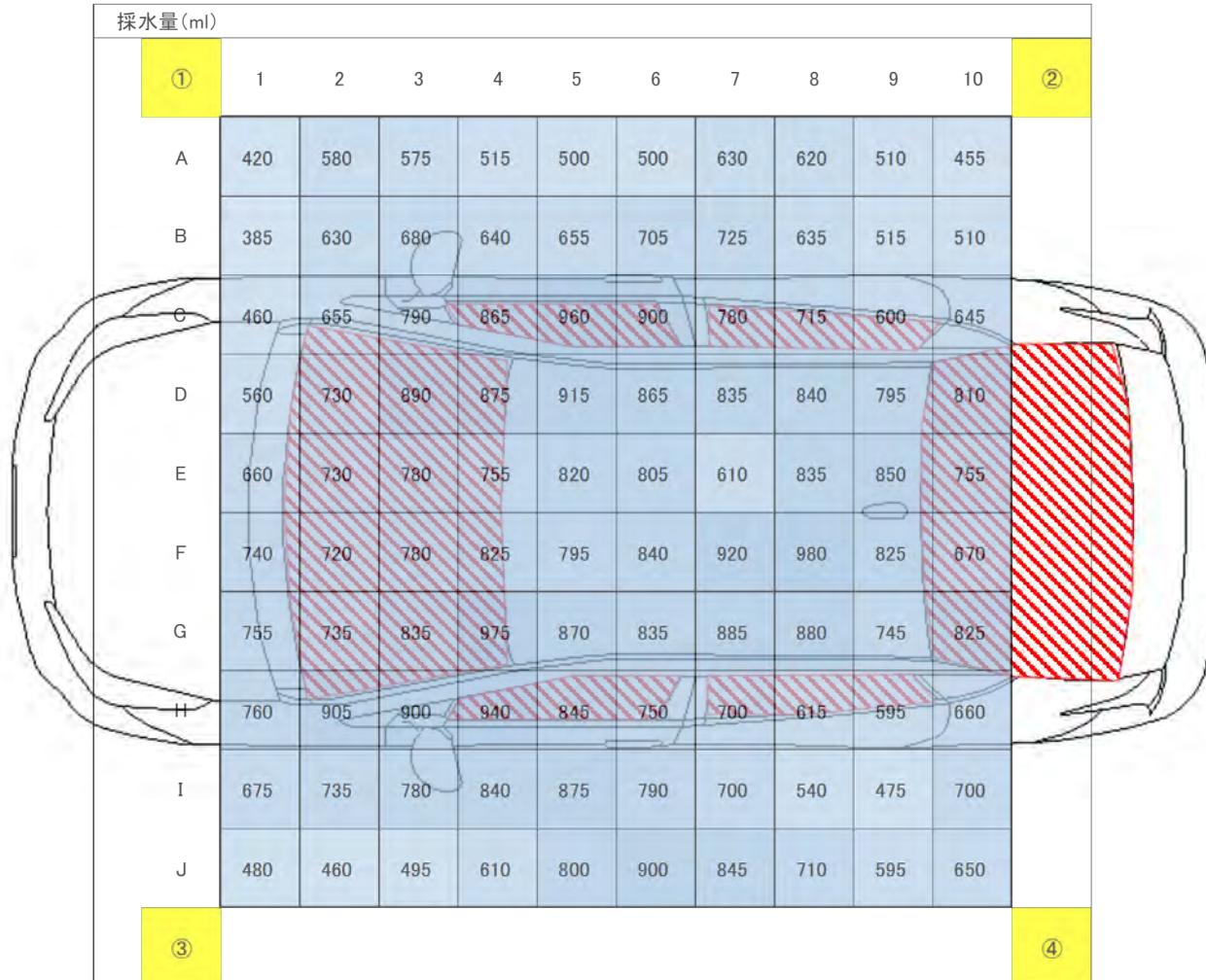
- 放水開始後は、温度上昇を抑制しているものの、NFと比較すると実験室内空間の温度が高くなっている。
- 天井部分の温度が100°C程度になっており、他にスプリンクラーヘッドがあれば作動していると推測できる。  
(作動温度が72°Cの場合)

# SP実験結果【散水分布】

①～④のヘッドすべて作動し、4つのヘッドから放水

【平面図】

観測室側



1マス： $\sqrt{1000\text{cm}}$ 角で面積は $0.1\text{m}^2$

■ : 実験でのガラス割れ部分

【測定値】

項目	計測結果
ヘッド取付高さ/間隔	4.0m/3.25m
作動ヘッド	①・②・③・④
計測時間	1 min
放水圧力	0.1MPa
放水量	80L/min
総採水量	72,230ml
平均散水密度	7.2l/m <sup>2</sup>

【設計値】

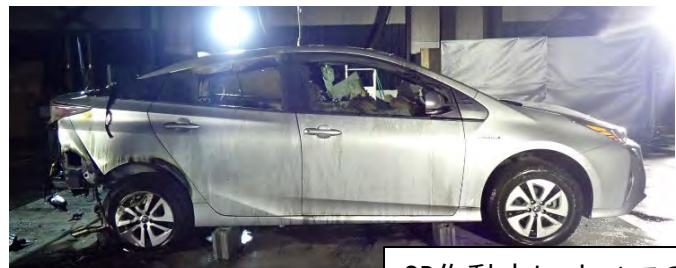
項目	設計値
放水圧力	0.1MPa
放水量	80l/min
平均散水密度	7.5l/min · m <sup>2</sup>

# SP実験結果【実験後の様子】

## 【実験後の車両状況】



SP作動中にフロントガラス・リアガラスともに割れた



SP作動中にすべてのドアガラスが割れた



## 【燃料タンクの燃焼状況】



タンクが溶け穴が開いている

## 【リチウムイオン電池の燃焼状況】

カバー外観



内部の燃焼状況



- 消火設備作動中は、フロント、リアガラスをはじめすべてのガラスが割れ脱落している状態であった。
- 外周部の焼損は小さいが（NFよりはリア部分の燃焼大）、車室内からトランク部分にかけての燃焼が強く、燃料タンク（燃料は空の状態で実施）とリチウムイオン電池まで延焼している状態であった。

# ガラス割れ、脱落の状況

## 各実験の状況

## 着火からガラス割れや脱落の時間と車室内温度

閉鎖型水噴霧設備 (R7)	0:00 点火		100:00 助手席ドア開放	101:13 放水開始	101:34 フロントガラス一部割れ火炎噴出	104:07 左リアドアガラス破壊						107:07 右リアドアガラス破壊	110:19 トランク下側ガラス破壊				121:30 放水停止・強制消火
	車室内温度		180.3°C	400°C	387.2°C	438.6°C						417.0°C	383.1°C				131.2°C
スプリンクラー設備 (R7)	0:00 点火		100:00 助手席ドア開放			104:30 放水開始	104:33 左リアドアガラス破壊	104:52 運転席ドアガラス破壊	105:12 フロントガラスが一部割れ火炎噴出	105:38 助手席ドアガラス破壊	106:04 右リアドアガラス破壊			112:00 フロントガラス全面破壊	116:45 トランク下側ガラス破壊	117:44 リアガラス破壊	124:30 放水停止・強制消火
	車室内温度		256.8°C			692.9°C	748.4°C	828.9°C	822.0°C	818.4°C	722.6°C			543.8°C	652.4°C	675.0°C	155.6°C

(参考)

フリーバーン (R6)	0:00 点火											59:42 右リアドアガラス破壊	60:19 フロントガラスが一部割れ火炎噴出	64:56 フロントガラス全面破壊	66:29 リアガラス破壊	66:57 右フロントドアガラス破壊	67:07 助手席ドアガラス破壊	69:26 左リアドアガラス破壊
	車室内温度											236.2°C	289.8°C	884.7°C	993.2°C	996.7°C	1000.9°C	1007.6°C
泡消火設備 (合成界面活性剤泡) (R6)	0:00 点火		16:46 左リアドアガラスが一部割れ火炎噴出	16:59 リアガラスが一部割れ火炎噴出	24:25 リアガラス破壊	27:36 フロントガラスが一部割れ火炎噴出	28:58 フロントガラス全面破壊	29:07 泡放射開始	29:14 運転席ドアガラス破壊	29:19 助手席ドアガラス破壊	39:07 泡放射停止							
	車室内温度		526.4°C	489.5°C	437.2°C	572.8°C	655.3°C	662.6°C	687.3°C	688.9°C	192.1°C							

## ガラス割れの差が生じる理由

- 車両火災時にガラスが割れる理由として、①ガラスの表と裏、又は異なる部位で温度差が大きい場合、②ガラス枠やガラスの支持部材が火災の熱の影響で変形することによる応力や曲げ、③燃焼に伴う衝撃（爆風、熱膨張、エアバッック作動など）、④加熱によるガラスの軟化（一般的な板ガラスの軟化点は600~700°C）などが挙げられる。
- 今回の実験と過去の実験から、車室内温度が、概ね600°C以上に上昇すると、フロントガラスやリアガラスの全面的な脱落につながっていることを踏まえ、火災時に全面的にフロントガラスやリアガラスが割れ脱落するには、上記④加熱によるガラス自体の軟化と②ガラス枠等が火災の熱影響で変形することによる応力や曲げの発生の寄与が大きいと考えられる。
- NFの消火実験において、フロントやリアガラスとも全面的な脱落に至らなかった理由として、NFにより車室内の燃焼が抑制されており、ガラスの温度上昇がSPなどの場合と比較し抑制されていたためと考えられる。なお、今回のNFとSPの実験で使用した車両は、過去のフリーバーンや泡消火設備で使用した車両より新しい型式（今回：2016年式、過去：2004~2012年式）の上位グレードで、機能性ガラスが使用されていることもガラス割れの差として現れた可能性がある。

# NFとSPの実験結果まとめ

- NF、SPとともにサイドガラスの一部を開放していたが酸素不足により（※1）発煙するものの火災進展せず、消火設備を作動させるまでの温度上昇に至らない。着火から100分後ドアを意図的に開放し、火災進展させて消火設備が作動した。
- 一般的なハイブリッド車（燃料タンクは空）を用いた消火実験では、NF、SPいずれも当初の目的である隣接車両の延焼抑制性能は有していることが確認できた。
- NFはSPに比べ放水圧力や放水量が大きく、SPよりも車自体や周囲空間の冷却効果が高く、延焼抑制性能がより高いことが確認できた。
- また、NFの消火実験では、フロント・リアガラスともに崩落せず散水障害の影響が大きいにも関わらず、SPと比較して車室内の燃焼が抑制されており、直接水がかからない部分であっても燃焼制効果を有していた。この違いの生じる要因について考えられる点は次のとおり。
  - 水による消火において、水粒子のサイズが小さくなり表面積が増えると、蒸発しやすくなるため潜熱による冷却効果が高くなり、また、蒸発した際の水蒸気による窒息効果も高まる。
  - 一般的にスプリンクラーの特性として、水粒子の大きさは、放水圧力の1/3乗に反比例、口径の2/3に比例する関係があり、放水圧が高く口径が小さいと粒子サイズが小さくなる傾向にある。（※2）
  - NFはSPに比較して放水圧が高く、口径が小さいため水粒子がより小さくなるため、発生した水粒子が車室内に入り込むことによる冷却、窒息効果に加え、散水密度が大きいことによる車体や空間全体の冷却効果により、車室内の燃焼が抑制されたと考えられる。

※1 参考：岡本勝弘「科学警察研究所で実施した自動車燃焼実験～車両火災時における延焼可能性～」（火災(389号)）

「ドアガラス開口量を変化させ、車室内に着火した実験を行うことにより、車室内出火時において換気条件が自動車燃焼性状に与える影響について調べた。これらの実験結果から、車室内出火時に燃焼が継続するために必要なドアガラスの最小開口量は5cmであり、この場合には車室内の燃焼が酸欠状態で緩慢に継続する現象が見られる・・（以下略）」

※2 The NFPA SFPE handbook of Fire protection engineering 3th

## Droplet Size and Motion

For geometrically similar sprinklers, the median droplet diameter in the sprinkler spray has been found to be inversely proportional to the  $1/3$  power of water pressure and directly proportional to the  $2/3$  power of sprinkler orifice diameter such that

$$d_m \propto \frac{D^{2/3}}{P^{1/3}} \propto \frac{D^2}{Q^{2/3}}$$

where

$d_m$  = mean droplet diameter

$D$  = orifice diameter

$P$  = pressure

$Q$  = rate of water flow