

遠隔運転システムの通信等遅延時間に関する規定（案）

1. 制動時における停止距離の増加に関する規定

遠隔運転には、通信系の遅延（映像遅延 TGG、制御遅延 Tcs）があるため、遠隔走行中その運転者が危険を認知するまでに時間を要し、さらに運転者が制動操作を行ってから車両が作動開始するまでの時間も、直接運転走行のときよりも増加する。

従って、直接運転者の危険認知地点を起点にした、車両が停止するまでの停止距離（空走距離＋制動距離）は、同一道路条件下の走行において、遠隔走行の方が、直接走行よりも見掛け上増大する。

また、走行の個々のケースや、遠隔システムの映像伝達表示系の性能によっては、遠隔運転者の危険認知のタイミングが、映像遅延時間（TGG）以上遅れる（その増加時間を Δ とする）可能性を否定できない場合も存在すると思われる（この場合、 Δ は運転者の反応時間の増加とみなしてもよい）。

これら、遠隔運転による直接運転に対する停止距離の見掛け上の増加分を規定の対象とし、これを1m以下に抑えるものとする。

(1) 一般式

（ Δ が無視できないと思われるケース、または Δ が無視できるか否か確定できないケース）

$$\underline{v \cdot (TGG + Tcs + \Delta) \leq 1.0m}$$

(2) Δ がほとんど無視できると考えられるケース

（いくつかの諸条件（日中帯、十分な低速走行、適正なカメラ解像度と撮像画角、適正なモニタ解像度と画面構成など）の下、 Δ が無視しうると推定できる実際の実証実験などのケース）

$$\underline{v \cdot (TGG + Tcs) \leq 1.0m} \quad (\text{後述 3.規定と同様})$$

2. 制限速度が定められた道路の遠隔走行において、追突防止のための規定 【参考規定】

一方、1.のように遠隔車輛に対して停止距離の増加を規定するのではなく、遠隔車輛が（直接車両に比較して）停止距離増加を生じさせないように、すなわち制限速度で走行中の直接車両の停止距離を超えないよう当該制限速度から一定速度、遠隔車輛を減速走行させる、という考え方もある。

(1) 遠隔運転システムの $T_{GG} + T_{cs}$ に応じ、個々の道路の制限速度（LSAD：32km/h[20km/h（日本）]以下の、道路の個別の制限速度）から減速して走行すべき遠隔運転の速度は、

図1（減速値は赤字 両矢印の線）

のとおりとする。

ex. $T_{GG} + T_{cs}=300\text{m}$ 秒の場合、32km/h以下の各制限速度に対する減速値は約4km/h †

† 【図1 追補】は、遠隔運転者の反応時間の増加 Δ を考慮した場合の図である。この場合は上記の減速値を一層大きくする必要があることを示している。

(2) 車間距離の確保

走行速度に対し1.で定まる停止距離（停止距離増分を含む）に相当する車間距離を確保する。

【注】 2.（1）の規定を満たせば、原理的に停止距離の増加が無くなるので、1.の規定は不要になるが、（制動時でない）通常走行の場合には、依然として3.4.5.（及び2.（2））の規定は必要であることに留意。

3.（通常）直線走行時の規定

遠隔車輛による通常の直線走行に対し、自車（遠隔）前方の映像遅延と制御遅延の誤差合計距離を1m以下に抑える。この値は、1.において Δ が無視できる場合の停止距離増加の許容規格と一致する。

$$\underline{v \cdot (T_{GG} + T_{cs}) \leq 1.0\text{m}} \quad (\text{直線})$$

4. (通常) 曲線走行時の規定

遠隔車輛による通常のカーブ走行においては、車両の（最小回転半径を考慮した）直接運転走行における正常なルートからの「はみだし幅」を最大 0.5m に抑えることとする。†

カーブ角が 90 度以上の場合、カーブの曲率半径に関わらず、このはみだし幅は映像遅延と制御遅延の誤差合計距離を超えない。

従って、

$$\underline{v \cdot (T_{GG} + T_{cs}) \leq 0.5m \quad (\text{カーブ})}$$

この規定は、それぞれの遠隔運転車について、カーブ走行は、直線走行の 50%以下の速度で走行することを意味する。†

† カーブの曲率半径が、車両の最小回転半径に比し十分大きければ、「はみだし幅」が 0.5m を超えることはない。

解析によれば、はみだし幅は、カーブの曲率半径が、車両の最小回転半径と遅延誤差距離との和より大きい場合、最大でも遅延誤差距離の 42%値を超えず、またカーブ半径がさらに大きくなるに従って、ゼロに漸近する。。

すなわち、走行中のカーブの曲率半径が、上記の和の値よりも大きな場合には、遅延誤差距離が 1 m 程度であれば、ふくらみ幅は“自動的に” 0.5m を超えないことが保証される。

従って、カーブの曲率半径が、自動車回転最小半径と遅延誤差距離の和より小さい、あるいは車両の最小回転半径の 2 倍程度より小さいような急カーブ走行についてのみ、上の式が意味をもつ。

すなわち、

$$\underline{v \cdot (T_{GG} + T_{cs}) \leq 0.5m}$$

$$\underline{(\text{カーブ半径：車両最小回転半径} + \text{遅延誤差距離 以下} < \text{車両最小回転半径} \times 2 \text{ 以下})}$$

5. カーブ走行時における運転制御の安定に関する規定

$$\underline{T_{GG} \leq 300\text{m秒} \quad \text{【暫定規格】}}$$

これは、遠隔からの運転制御により（制御遅延を経て）車両側で制御が作動されたにもかかわらず、映像遅延のためその作動開始を遠隔運転者が直ちに認知できず、このため、遠隔運転者が過剰に制御を加え続けることなどに起因する。

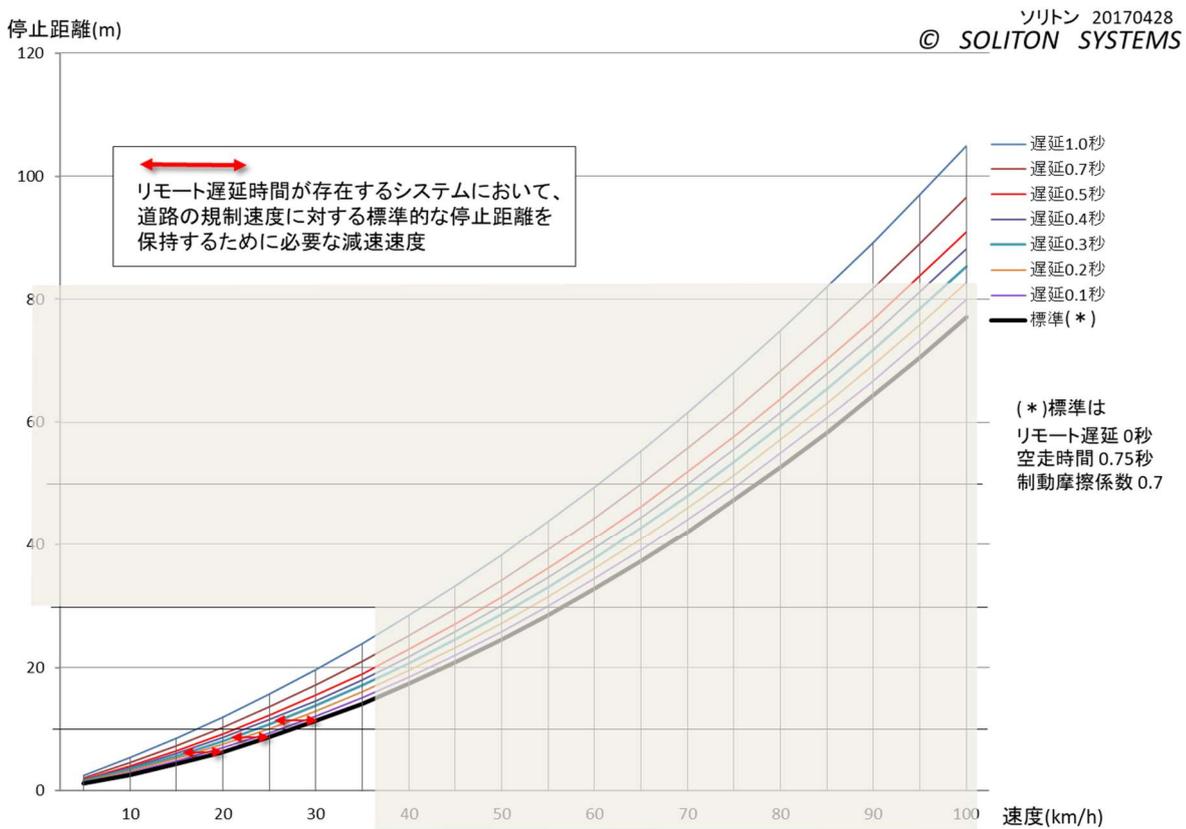
この現象は、専ら映像遅延の絶対時間に大きく影響されることが明らかであるが、走行中は、速度を低下させれば直ちに収束する。

現在、本現象の詳細な解析とその対策について研究中である。

なお、この現象は、遠隔運転者の習熟により回避することが可能である。

【図1】

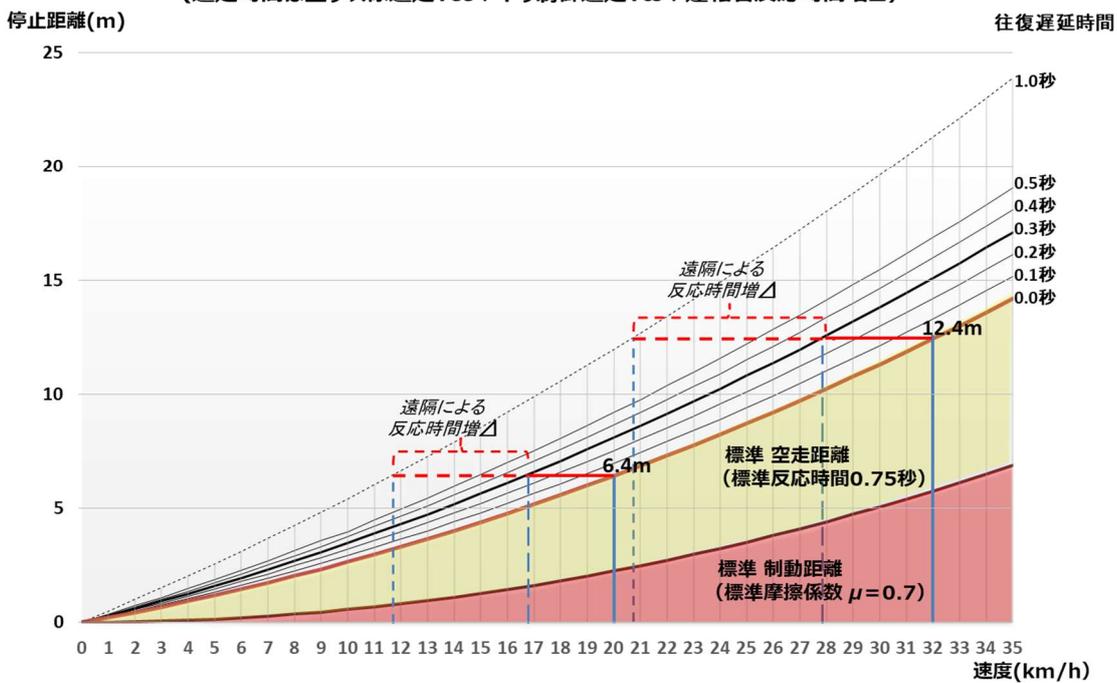
リモート遅延がある場合の停止距離 (遅延時間は上り映像遅延+下り制御遅延の往復時間)



【図1 追補】

リモート遅延がある場合の停止距離 (遠隔運転者の反応時間の増加 Δ を考慮)

(遅延時間は上り映像遅延 T_{GG} +下り制御遅延 T_{CS} +運転者反応時間増 Δ)



規格（案）の解説

1. 制動時における遠隔運転システムの見掛けの停止距離（[空走距離] + [制動距離]）の増加

(a) 遅延（映像遅延、制御遅延）を有する遠隔運転走行では、制動時、同じ初速の直接運転車（遅延がない）が危険認知した地点を起点とする停止距離が、直接運転車の停止距離よりも増加する（図2参照）。

図2の説明

直接走行車両 < 0 >

初速 v_0

運転者反応時間 T_H

道路摩擦係数 $\mu (=0.7)$ (3車両同一)

空走距離 $LF_0 = v_0 \cdot T_H$

制動距離 $LB_0 = (v_0^2 / 254 \mu)$: LB_0 [m] , v_0 [km/h].

停止距離 $LS_0 = LF_0 + LB_0$

遠隔走行車両 < 1 >

映像遅延 T_{GG}

制御遅延 T_{CS}

初速 $v_1 = v_0$ とする.

運転者反応時間 $\Delta + T_H$ (Δ 増加と仮定)

道路摩擦係数 μ (同一)

空走距離 (< 0 >の危険認知地点を起点とする)

$$LF_1 = v_0 \cdot (T_{GG} + [\Delta + T_H] + T_{CS}) \dots \text{見掛けの増加}$$

制動距離 $LB_1 = LB_0$

停止距離 (< 0 >の危険認知地点を起点とする)

$$LS_1 = LF_1 + LB_1 = LS_0 + v_0 \cdot (T_{GG} + T_{CS} + \Delta)$$

図2 制動時の停止距離 解説図 © SOLITON SYSTEMS

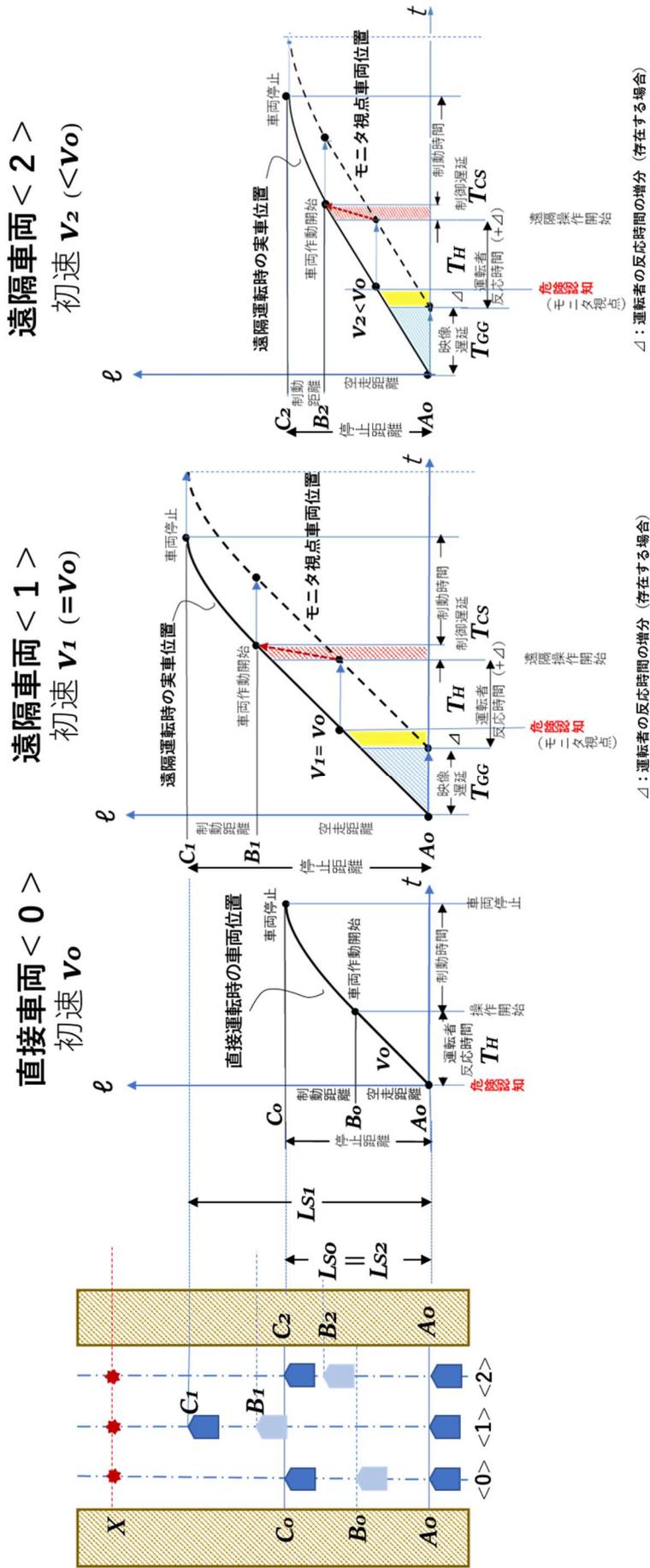


図1に、遅延時間(TGG+Tcs)をパラメータとして、初速 v_0 に対する遠隔運転システム走行時の停止距離 L_{s1} (起点は直接運転者が危険を認知した地点とする)を示す。
(なお、図1では、初速の値如何にかかわらず、 $\Delta=0$ と仮定して作図している†)

† Δ の値を一定範囲考慮した場合の停止距離を、【図1追補】に示す。

(b) 実証実験における Δ の推定

前式から、遠隔車輛における停止距離の増分は、初速が等しい場合

$$L_{s1} - L_{s0} = v_0 \cdot (TGG+Tcs+\Delta),$$

Δ は、遠隔運転システムが有する視覚(聴覚)伝達表示系に関する遅延時間性能以外の安全性の能力評価のための重要な要素であり、多様な走行ケースに対する種々のシステム性能、機能から総合的に評価、計測されるべき値と考える。

今後、多様な条件による評価実験を行い、 Δ の改善を追求すべきである。

実証実験における、ある速度以下の遠隔走行のケースでは、適正な条件の下で、 Δ を十分小さく保持できることが既に経験されている。

ここに、図1から、LSADの直接運転(遅延のない系)における各初速 v_0 に対する停止距離 L_{s0} は以下(最大でも13mを超えず、また25 km/h以下では10mを超えない)である。

初速 v_0 (km/h)	停止距離 L_{s0} (m)
32	12.42
30	11.31
25	8.72
20	6.42
15	4.40
10	2.26

遠隔車両からの注視すべき前方視界距離が少なくとも約40m以下の場合、遠隔運転システムの実証実験で適用したカメラ視界、その解像度、モニタ条件等の適正化により、 Δ は十分小さく

できること（ほぼ無視できるレベルとみなされること）が、実験的に観測された。

（注）実証実験での条件の概要：カメラは2K標準HTV,30fpsを3台水平設置して画像形成、撮像画角左右約200度、上下66度。適正なモニタ解像度、モニタ内上下2段画面構成など。遠隔走行速度は約10km/h.

（1）日中帯において、距離約40mの前方にある白熱灯信号ランプ（直径30cm）赤色識別の反応時間（視力1.0程度の監視者）では、肉眼とカメラ・モニタ映像とで違いがほとんど観察されなかった（厳密な測定は未実施）。

（2）晴天日、太陽高度約10度の正面逆光における走行では、肉眼による直接走行よりも、むしろ遠隔走行の方が前面周辺状況の視認性が高かった。

このような遠隔運転システムにおいては（その走行条件の下で）、

$$v_0 \cdot (T_{GG} + T_{CS})$$

とみなすことが可能と推定する。

その規格値は、後述3との整合性を考慮し、

$$\underline{v_0 \cdot (T_{GG} + T_{CS}) \leq 1 \text{ m}}$$

とする。

（25km/h以下の範囲では、この許容増分を加算した停止距離にあっても、視界40mの範囲内にある）

2. 直接運転走行の停止距離を遠隔運転が超えないための、直接運転走行速度からの減速値

- (a) 制限速度のある道路を遠隔運転車が走行する場合、直接走行の先行車に追突しないため、遠隔運転車の速度を制限速度から減速させて、遠隔運転車の停止距離を直接走行車のそれを超えないようにする方策（日本国警察庁のガイドライン）も考えられる。

その減速値を求める。

図2において、

遠隔走行車両 < 2 >

映像遅延 T_{GG}

制御遅延 T_{CS}

初速 $v_2 < v_0$

運転者反応時間 T_H （考察範囲で Δ は無視できると仮定）

道路摩擦係数 μ （= 0.7, すべてに共通）

空走距離 $LF_2 = v_2 \cdot (T_{GG} + T_H + T_{CS})$

制動距離 $LB_2 = v_2^2 / 254 \mu$: LB_2 [m], v_2 [km/h].

停止距離 $LS_2 = LF_2 + LB_2$

ここで、 $LS_2 = LS_0$ すなわち

$$v_2 \cdot (T_{GG} + T_H + T_{CS}) + v_2^2 / 254 \mu \\ = v_0 \cdot T_H + v_0^2 / 254 \mu$$

から、遠隔運転システムの遅延時間 ($T_{GG} + T_{CS}$) (秒) をパラメータとして、 $LS_2 = LS_0$ となる v_0 に対する v_2 を求める。

図1から、例えば遅延時間 ($T_{GG} + T_{CS}$) = 0.3 秒の場合、30 km/h 以下の制限速度の道路では速度約 4km/h を当該制限速度から減速することが必要となる。

- (b) 車間距離の確保

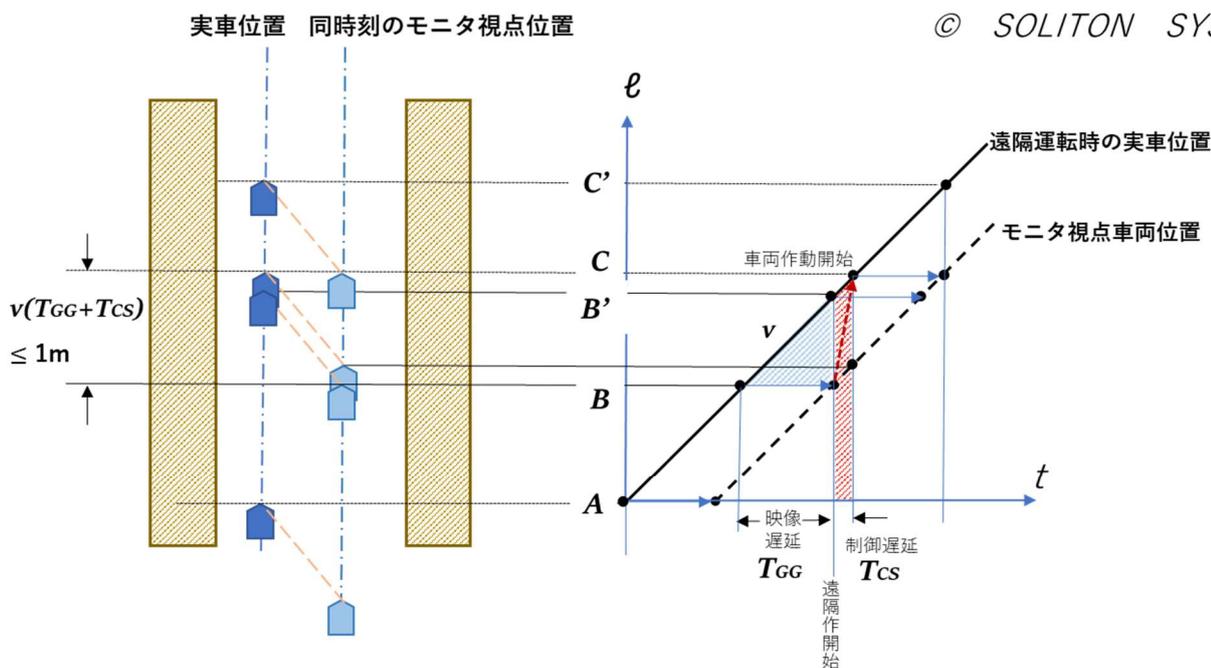
遠隔運転走行時の走行速度に応じたシステム遅延を考慮した停止距離 (図1) を確保すべきである。

3. (通常) 直線走行時の規定

図3 参照。

図3 直線 (通常) 遠隔走行 解説図

© SOLITON SYSTEMS



この(通常)走行では、緊急操作でない操作を想定している(緊急操作のケースは、図2参照)。運転者反応時間は考慮しない。

この(通常)走行では、緊急操作とならない定常操作を想定しており(緊急操作のケースは、図2参照)、運転者反応時間そのものは考慮しない。

通常の直線走行に対し、自車(遠隔)前方の映像遅延と制御遅延の誤差合計距離を1m以下に抑える規格とする。この値は、1.における停止距離増加の許容規格と一致する。

$$\underline{v \cdot (TGG + Tcs) \leq 1.0m}$$

4. (通常) 曲線走行時の規定

図4 参照。

この(通常)走行では、緊急操作とならない定常操作を想定しており(緊急操作のケースは、図2参照)、運転者反応時間そのものは考慮しない。

遠隔車輛による通常のカーブ走行において、車両の(最小回転半径を考慮した)直接運転時の正常な走行ルートからのみだし幅 δ を0.5m以内に抑えることとする。

最小回転半径 r_{min} の車両が、直角に曲率半径 R でカーブする道路を走行する場合について、直接運転車両の走行ルート(正常な走行ルート)と、遠隔運転の走行ルートとの最大のズレ幅 δ を考察する。

自車(遠隔)進行方向(カーブ接線方向)のオーバーランの長さ: L とすると、

$$\delta = L \quad (\quad r_{min} \geq R \text{ の場合})$$

$$\delta < L \quad (\quad r_{min} < R \text{ の場合}) \quad \text{である。}$$

$$\text{ここで、} L = v \cdot (T_{GG} + T_{cs}) \quad (\text{映像遅延と制御遅延の誤差合計距離})$$

従って、 $\delta \leq 0.5m$ は、映像遅延と制御遅延の誤差合計距離を0.5m以下とすれば満たされる。

$$\underline{v \cdot (T_{GG} + T_{cs}) \leq 0.5m} \quad (\text{カーブ})$$

この規格は、それぞれの遠隔運転車について、カーブ走行は、直線走行の50%以下の速度で走行することを意味する。†

†【図4追補】は、上記はみだし幅 δ と、オーバーラン長 L との比率 δ/L を求めるための関係式を示す。

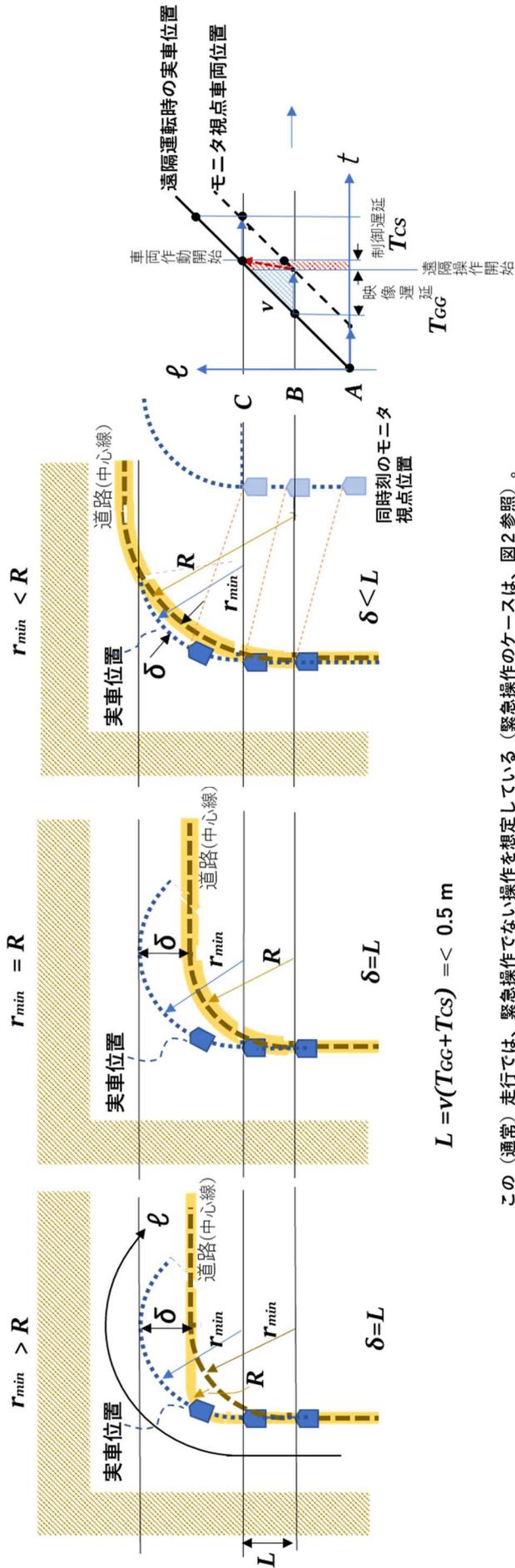
パラメータ $(R - r_{\min}) / L > 1.0$ に対し、常に $\delta / L < 0.42 < 0.5$ であるので、この条件下では、遠隔運転車は減速しない走行の場合でも、 $L \leq 1.0\text{m}$ であれば、常に $\delta \leq 0.5\text{m}$ が自動的に満たされている。

従って、 $(R - r_{\min}) / L \leq 1.0$ 、すなわち $R \leq r_{\min} + L < r_{\min} \times 2$ のような急カーブ走行の場合に、この規定が意味を持つことになる。すなわち、

$$\underline{v \cdot (T_{GG} + T_{CS}) \leq 0.5\text{m} \quad (\text{カーブ半径} : r_{\min} + L \text{ 以下} < r_{\min} \times 2 \text{ 以下})}$$

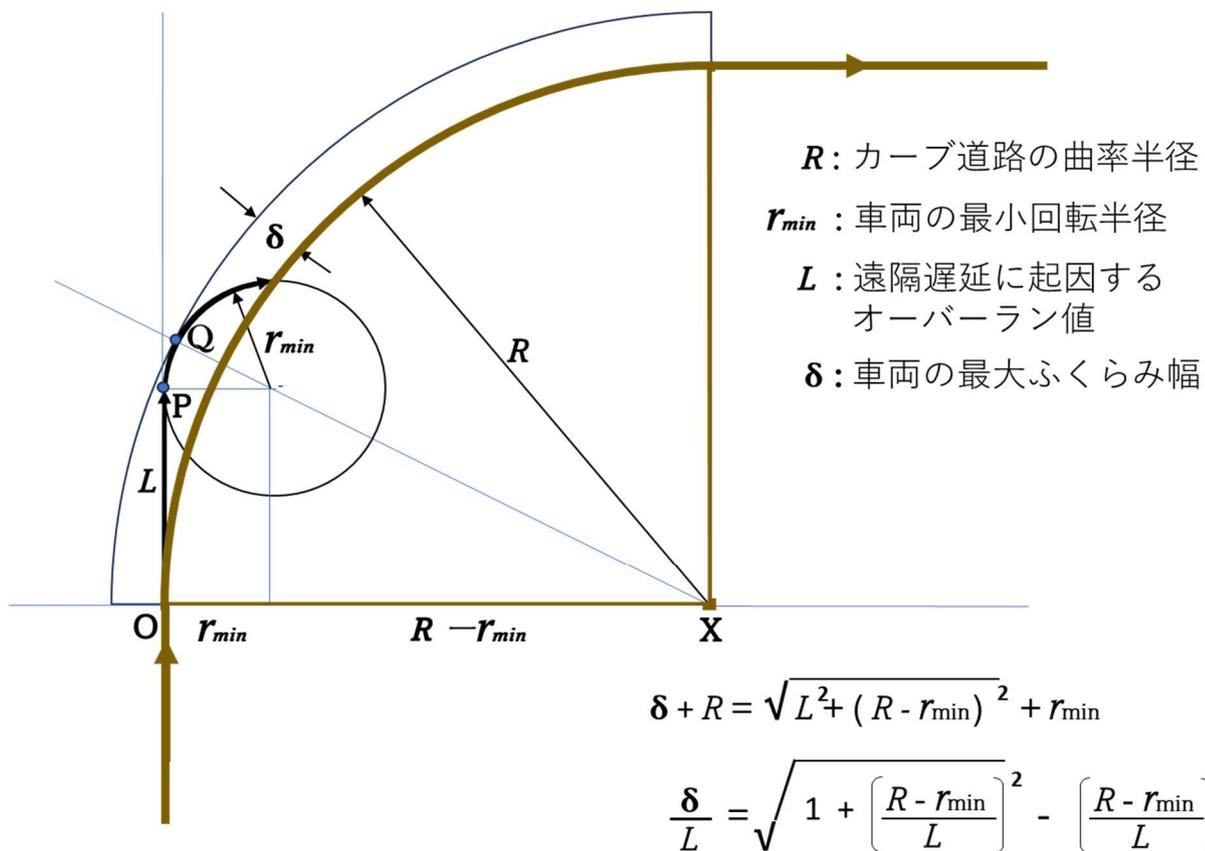
図4 曲線（通常）遠隔走行 解説図

© SOLITON SYSTEMS



この（通常）走行では、緊急操作でない操作を想定している（緊急操作のケースは、図2参照）。
運転者反応時間は考慮しない。

【図4 追補】 はみだし幅 δ の導出



5. カーブ走行時における運転制御の安定に関する規定

TGG ≤ 300m秒 【暫定規格】

これは、遠隔での運転制御が（制御遅延を経て）車両側で作動開始しているにもかかわらず、映像遅延のためその開始が遠隔運転者に直ちに認知できず（制御遅延が増大しているように見える）、このため、遠隔運転に不慣れな運転者が過剰に制御を加え続けることに起因する。不慣れな遠隔運転者は、しばしば制動時に過制動を誘発し、また特にカーブ走行の終了時にしばしば軽い蛇行現象を引き起こす。

この現象は、専ら映像遅延の絶対時間に大きく影響されることが明らかであるが、走行中は、速度を低下させれば直ちに収束する。

現在、詳細な解析とその対策について研究中である。

なお、この現象は、遠隔運転者の習熟により、回避することが可能である。

(以上)