

卒業論文

鉄道軌道回路における事故情報分析手法の

開発

p.1~p.55 完

平成 22 年 2 月 5 日提出

指導教官 酒井信介教授

80176 神谷 翔太

目次

第 1 章	序論.....	6
1.1	研究の背景.....	6
1.2	本研究の目的	6
1.3	本論文の構成	7
第 2 章	軌道回路.....	8
2.1	緒言	8
2.2	軌道回路概要[1].....	9
2.3	軌道回路の動作原理[2].....	9
2.4	商用周波数軌道回路	10
2.4.1	商用周波数軌道回路の特徴・構成	10
2.4.2	インピーダンスボンド	11
2.5	軌道回路の故障原因[1].....	12
2.6	考察.....	12
第 3 章	軌道回路の電氣的シミュレーション	13
3.1	緒言	13
3.2	回路シミュレータ	14
3.3	軌道回路・故障状態のモデル化[1].....	14
3.3.1	レールのモデル化.....	14
3.3.2	インピーダンスボンドのモデル化[6].....	14
3.3.3	軌道回路全体のモデル化.....	15
3.3.4	故障状態のモデル化.....	17
第 4 章	特定軌道回路の短絡位置特定	19
4.1	緒言	19
4.2	対象軌道回路	20
4.3	各測定点シミュレーション結果	20
4.4	送電圧曲線の簡易化	22
4.5	短絡位置特定方法	25
4.6	考察.....	28
第 5 章	一般的商用周波数軌道回路への拡張	29
5.1	緒言.....	29
5.2	各パラメータの影響	30
5.2.1	システムに必要なもの	30
5.2.2	送電ケーブル抵抗値の影響.....	31
5.2.3	受電ケーブル抵抗の影響.....	34

5.2.4	軌道回路長の影響.....	37
5.2.5	漏れ抵抗値の影響.....	39
5.2.6	影響についてまとめ	41
5.3	一般化	41
5.4	考察.....	45
第 6 章	システムの精度	46
6.1	緒言	46
6.2	システムの精度.....	47
6.3	実験値との比較.....	49
6.4	考察.....	51
第 7 章	結論.....	52
7.1	本研究における結論	52
7.2	今後の課題.....	52
参考文献.....		53
謝辞		54

図表目次

図 2.1	軌道回路の動作原理.....	9
図 2.2	商用周波数軌道回路の構成.....	10
図 2.3	インピーダンスボンドの原理.....	11
図 2.4	軌道回路障害における簡易 FTA.....	12
図 3.1	レールの等価回路[5].....	14
図 3.2	インピーダンスボンドの等価回路.....	15
図 3.3	軌道回路のモデル.....	15
図 3.4	送電ケーブル短絡のモデル化.....	17
図 3.5	受電ケーブル短絡のモデル化.....	17
図 3.6	レール間短絡のモデル化.....	18
図 4.1	対象軌道回路.....	20
図 4.2	短絡位置特定有効測定点.....	20
図 4.3	受電圧測定点電圧変化.....	21
図 4.4	送電圧測定点電圧変化.....	21
図 4.5	送電圧と短絡位置の関係.....	22
図 4.6	$1\mu\Omega$ で短絡した時の x^Vs と短絡位置の関係.....	23
図 4.7	1Ω で短絡した時の x^Vs と短絡位置の関係.....	23
図 4.8	定数 x と短絡抵抗値 r の関係.....	24
図 4.9	実際の短絡位置と近似式から算出される短絡位置の関係.....	25
図 4.10	受電圧と短絡抵抗の関係.....	26
図 4.11	短絡抵抗と始点短絡送電圧の関係.....	26
図 4.12	短絡抵抗と終点短絡送電圧の関係.....	27
図 4.13	短絡抵抗と定数 x の関係.....	27
図 4.14	短絡位置特定フローチャート.....	28
図 5.1	受電圧一定仮定に対する送電ケーブル抵抗の影響.....	31
図 5.2	受電圧割合一定仮定に対する送電ケーブル抵抗の影響.....	31
図 5.3	近似式に対する送電ケーブル抵抗の影響.....	32
図 5.4	受電圧と始点短絡送電圧の関係に対する送電ケーブル抵抗の影響.....	32
図 5.5	始点短絡送電圧割合に対する送電ケーブル抵抗の影響.....	33
図 5.6	受電圧と終点短絡送電圧の関係に対する送電ケーブル抵抗の影響.....	33
図 5.7	終点短絡送電圧割合に対する送電ケーブル抵抗の影響.....	34
図 5.8	受電圧割合一定仮定に対する受電ケーブル抵抗の影響.....	35

図 5.9	近似式に対する受電ケーブル抵抗の影響.....	35
図 5.10	始点短絡送電圧割合に対する受電ケーブル抵抗の影響.....	36
図 5.11	終点短絡送電圧割合に対する受電ケーブル抵抗の影響.....	36
図 5.12	受電圧割合一定仮定に対する軌道回路長の影響.....	37
図 5.13	近似式に対する軌道回路長の影響.....	37
図 5.14	始点短絡送電圧割合に対する軌道回路長の影響.....	38
図 5.15	終点短絡送電圧割合に対する軌道回路長の影響.....	38
図 5.16	受電圧割合一定仮定に対する漏れ抵抗の影響.....	39
図 5.17	近似式に対する漏れ抵抗の影響.....	39
図 5.18	始点短絡送電圧割合に対する漏れ抵抗の影響.....	40
図 5.19	終点短絡送電圧割合に対する漏れ抵抗の影響.....	40
図 5.20	一般的商用周波数軌道回路の短絡位置特定フローチャート.....	42
図 5.21	短絡抵抗算出.....	43
図 5.22	定数 x 算出.....	43
図 5.23	始点短絡送電圧割合算出.....	44
図 5.24	終点短絡送電圧割合算出.....	44
図 6.1	100m 軌道回路のシステムのずれ.....	47
図 6.2	200m 軌道回路のシステムのずれ.....	47
図 6.3	300m 軌道回路のシステムのずれ.....	48
図 6.4	600m 軌道回路のシステムのずれ.....	48
図 6.5	模擬軌道回路実験のずれ.....	49
図 6.6	実験とシミュレーションのずれ.....	50
図 6.7	電圧読み取りによる違い.....	50
表 2.1	商用周波数軌道回路の構成機器.....	10
表 3.1	軌道回路モデル構成素子.....	16
表 4.1	記号の定義.....	25
表 5.1	各パラメータの影響.....	41
表 5.2	記号の定義(一般).....	42

第1章 序論

1.1 研究の背景

JR 東日本では安全な運行のために、鉄道定常監視システムを運用している。鉄道定常監視システムでは、安全な運行に必要な各装置にセンサを取り付け、その情報を監視室内で常時モニタリングしている。ある装置に故障が起こった時には、監視室の指令員が指示を出し、保線員を派遣し、保線員は故障の復旧のため現地で適切な処置を行うのである。保線員は現地で故障点を発見し、交換や修理を行うのである。この際、交換や修理にかかる時間はある程度一定でも、故障箇所発見に時間がかかってしまい障害復旧に時間がかかり、列車遅延につながるのである。

現地で故障箇所が見つからない原因として、故障原因と監視室内での故障表示の関連性が低いことがあげられる。現在のシステムは、故障が起こった時、監視室内では故障が起こったことは表示されるが、どの装置が故障しどの部品を交換すればよいのかまではわからないのである。現地に赴いてから故障原因の特定をしなければならず、復旧作業に時間がかかり、列車遅延につながるケースが出てきてしまうのである。

1.2 本研究の目的

本研究の目的は、安全な運行に必要な装置の一つである軌道回路の故障情報をモニタリングし、故障点発見を監視室内で可能にすることである。

現在の監視システムでは軌道回路に特定箇所の電圧・電流値を測定し、ある値を超えた時に軌道回路故障と定めている。その値がどのような値なのかは考慮せず、故障・正常の二パターンで分類されている。しかし、軌道回路の故障原因は多種多様であり、何が故障原因なのかわからない。現地に赴いてから故障原因を見つけなければならず、復旧に時間がかかる。この故障原因特定作業を監視室内で行うことができれば、復旧時間の短縮になると思われる。

本研究では、現在の得られている電圧値・電流値から軌道回路の故障箇所を特定できないかを検討する。

1.3 本論文の構成

第 1 章では本研究の背景と目的を述べた。

第 2 章では軌道回路とその故障原因について述べる。

第 3 章では電気シミュレータについて述べる。電気シミュレータを用いて軌道回路や故障原因をモデル化し、どのような電圧電流値が得られるのかを検討する。

第 4 章では第 3 章で得られたデータを元に、短絡位置を特定できるかどうかを検討する。

第 5 章では第 4 章で構築されたシステムを一般の軌道回路で成り立つかどうか検討する。また一般の軌道回路に適用する。

第 6 章ではシミュレーション上で構築されたシステムが実際に成り立つかどうか検討する。

第 7 章として本研究のまとめを行った。

第2章 軌道回路

2.1 緒言

軌道回路の故障原因・位置について監視室内で特定するにあたって、軌道回路の仕組みや故障原因の種類について知ることは重要である。そこで、本章では軌道回路や故障原因の種類や原理を述べ、本研究の対象を明確にする。

2.2 軌道回路概要[1]

軌道回路とは、電氣的な絶縁で区切られた線路のある一定区間に列車があるかどうかを自動で判断する装置である。その区間に列車有り判断された場合、当該区間への他列車の進入を禁止することで、列車衝突などの重大事故を防止し、安全な運行を保っている。

2.3 軌道回路の動作原理[2]

軌道回路は、隣接する軌道回路を電氣的に分離する方法や、電気信号として使用する電流などにより、様々な種類がある。ここでは最も簡単な直流軌道回路の動作原理を説明する。

レールは、絶縁継ぎ目を介して隣接軌道回路のレールと機械的に接続されているが、電氣的には絶縁されていて単独の閉回路を構成している。回路内に列車が存在しない時は軌道回路用電源からの電流が軌道リレーを励磁し、動作接点がオンになっている。したがって青ランプが点灯し、この軌道回路(閉塞区間)に列車が進入してもよいことを示している。

今この区間に列車が進入すると、車軸でレール間がショートするため軌道リレーが非励磁となる。落下接点がオンになり、赤ランプが点灯する。したがって、列車が軌道回路内に存在するときに、他の列車の進入は許されない。

もしここで軌道リレー・軌道回路用電源の故障、レール破断(折れ・ひび割れ)などがあれば、いずれの場合も落下接点がオンになるので、回路のフェイルセーフ性は保たれる。信号用電源故障やランプ断線などで赤・青両ランプとも不点灯の場合も、運用上進入不可という約束にしておけば、1 閉塞区間 1 列車の原則は守られることになる。

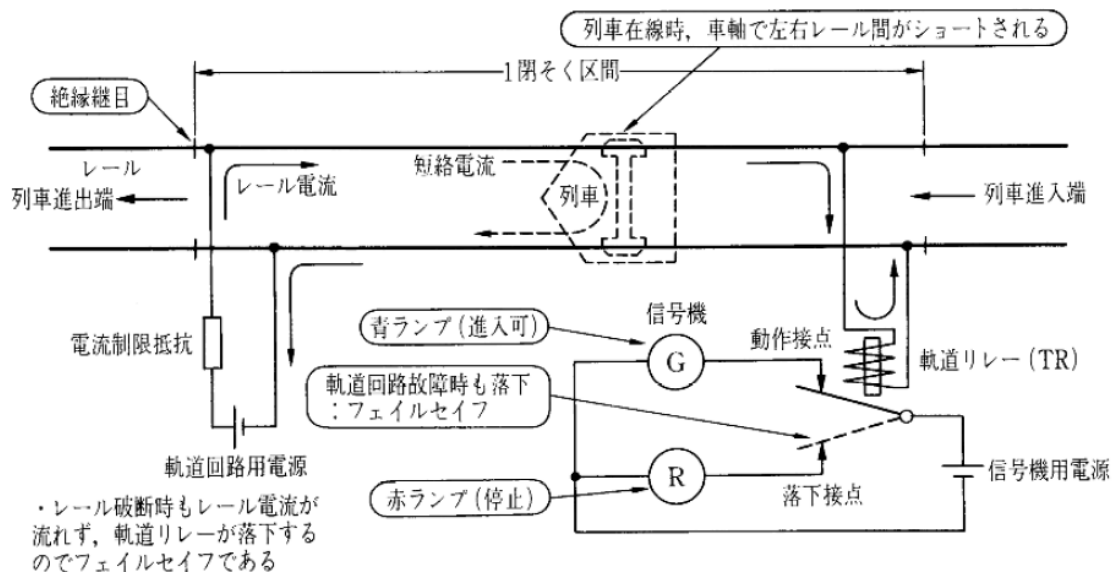


図 2.1 軌道回路の動作原理

2.4 商用周波数軌道回路

軌道回路には様々な種類があるが、本研究では一般的に用いられている商用周波数軌道回路を研究対象とした。

2.4.1 商用周波数軌道回路の特徴・構成[3]

直流電化区間用に開発された方式で、50Hz 又は 60Hz の商用電源をそのまま使用することから名づけられた。

図 2.2 が商用周波数軌道回路の基本的な構成図であり表 2.1 のような構成機器により構成されている。電磁機器を主体としているため信頼度が高く特性も安定している。軌道リレーは交流二元形を使用し、軌道電圧と局部電圧を与えて電圧と位相により列車検知をする。

漏れコンダクタンスの変動が $0.1\sim 1.0\text{S/km}$ の範囲で、短絡感度は 0.06Ω 以上と規定されている。

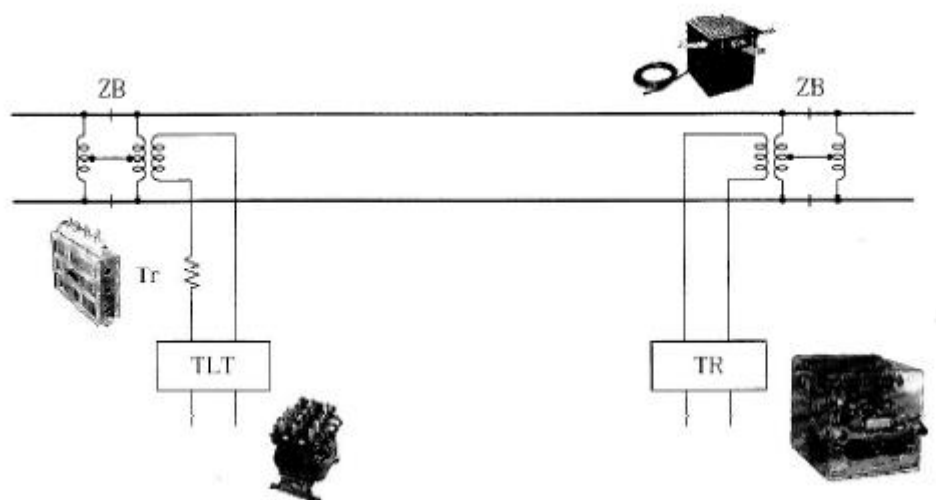


図 2.2 商用周波数軌道回路の構成

表 2.1 商用周波数軌道回路の構成機器

	名称	形式	定格	数量
TLT	軌道トランス	TLT-650	18V 25A	1
Tr	軌道抵抗子	A形	0.5 Ω 20A	1
ZB	インピーダンスボンド	DC商用	500A 1000A等	2
TR	軌道リレー	AC/50/60-2	1.0/1.2V 80° 1.2A	1

2.4.2 インピーダンスボンド[4]

商用周波数軌道回路にはインピーダンスボンドという電車電流と信号電流を区別する装置が取り付けられている。

信号電流の立場から見れば、各軌道回路は独立した信号電流の閉回路が成立していなければならないが、電車電流の立場から見れば、き電区間ごとに、レールは連続した一本の電車電流の帰線を形成していなければならない。このことから問題になるのは、レール絶縁継ぎ目の存在である。この問題を解決するために一般的に用いられる装置がインピーダンスボンドである。

インピーダンスボンドの構造が基本的にトランスと同じであるが、大電流の電車電流用直流帰線電流が流れても鉄心が磁気飽和しないように、エアギャップを設けるなどの工夫がしてある。レール接続端側のコイルは左右のレールに接続され、信号電流に対してはインピーダンスボンドを示し、トランス巻き線として作用する。しかし、直流に対してはほとんどインピーダンスボンドを示さず、巻き線の中性点隣接インピーダンスボンドの中性点に接続されていることから、レールに流れる電車電流用直流帰線電流は隣接する軌道回路にそのまま流されていく。つまり、信号電流に対しては各軌道回路がそれぞれ独立閉回路を構成し、電車電流に対しては、全ての軌道回路が連続した一本の帰線を構成することになる。

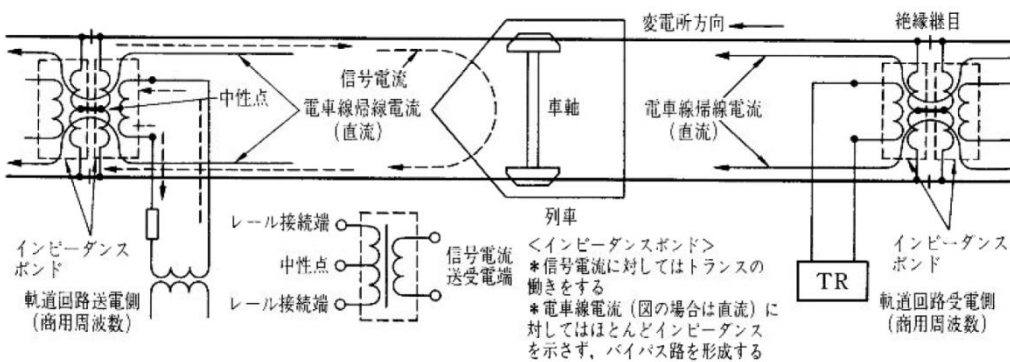


図 2.3 インピーダンスボンドの原理

2.5 軌道回路の故障原因[1]

軌道回路の故障は大きく分けて、短絡モード、開放モード、不平衡の3つに分類される。短絡モードとは、異物等により軌道回路がショートされる状態のことをいう。開放モードとは端子が弛緩するなどして回路の一部が切断される状態のことをいう。また不平衡とは電車電流の影響が信号電流に及ぶ状態のことをいう。

2005年度の東京司令所管内の軌道回路における故障箇所、件数をもとに作成された FTA を図 2.4 に示す。

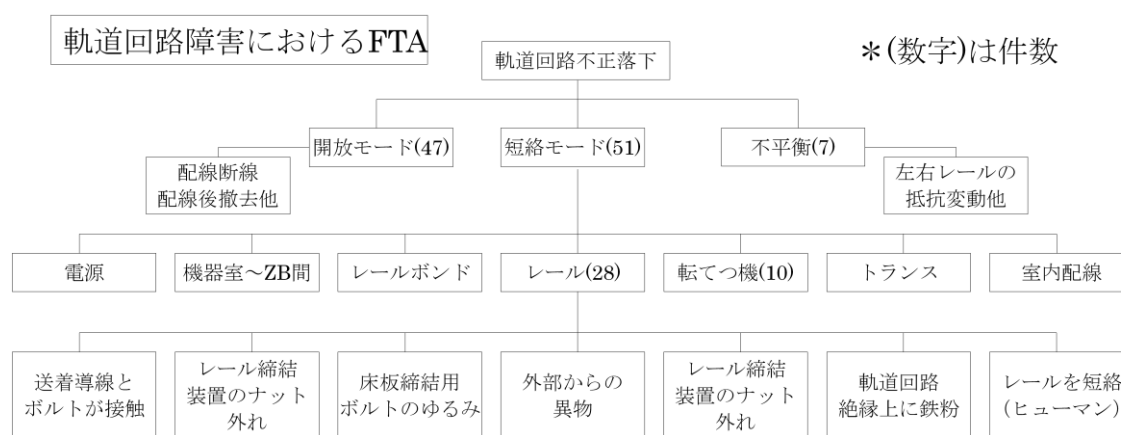


図 2.4 軌道回路障害における簡易 FTA

不平衡が原因で故障がおこったケースは7件と、短絡(51件)・開放(43件)モードに比べて少ない。

短絡モードの故障原因ではレール周りの不具合で、接合部分が多い。

また開放モードについては機器室内やレールに至るケーブルなど、ケーブルのあるところに多い。

2.6 考察

本研究では、件数の多い短絡モードについて進めていく。

短絡モードに関してはレールの接合部分などに多いので、レールについてどの部分で短絡が起きるか算出できるようにする。精度としてレールをある程度分割する程度でもそこに分岐機やレール継ぎ目などがあればそこを点検すればよいので大いに役に立つ。

第3章 軌道回路の電氣的シミュレーション

3.1 緒言

本章では、軌道回路と故障原因を電氣的シミュレーションによりモデル化した。シミュレーションにより軌道回路の電圧・電流値や、故障した場合の電圧・電流値のデータを得ることができ、事故情報分析手法の開発において重要な指標となる。

前章の結果から故障原因の大多数を占めるのは短絡モード・開放モードである。本研究では機器室内の電流電圧値変化を測定することで故障箇所を見つけるため、短絡モードについて進めていく。

3.2 回路シミュレータ

本研究では、軌道回路のシミュレーションのために回路シミュレーションソフトである Circuit Maker のトライアルバージョンを使用した。

回路シミュレータとは、ある回路を抵抗やコンデンサ、インダクタといった理想的な回路素子をつなぎ合わせたものとしてモデル化し、各部の電圧・電流値を計算するソフトである。

3.3 軌道回路・故障状態のモデル化[1]

3.3.1 レールのモデル化

レールは伝送回路である。伝送回路は分布定数回路であり、厳密には抵抗やコイルを用いた集中定数回路で表すことはできない。本研究では、近似的に図の集中定数回路を 5 つ繋ぎ合わせてレールをモデル化した。

図中の G は漏れコンダクタンスと呼ばれるもので、レールと地面との間の抵抗の逆数である。漏れコンダクタンスは天候によって大きく変化し、晴れの際には 0.01S/km ほどであるが、大雨の時やレールの置かれている環境によっては 2S/km ほどにもなる。図中の C はレール間の静電容量であり、 R はレール抵抗、 L はレールの自己インダクタンスである。

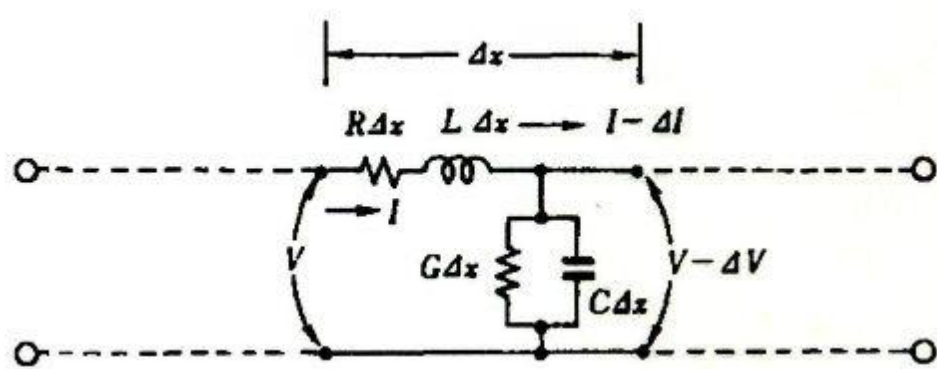


図 3.1 レールの等価回路[5]

3.3.2 インピーダンスボンドのモデル化[6]

インピーダンスボンドの中性線に信号電流が流れない平衡状態についてモデル化する。電車電流が一次巻き線に不平衡に流れただけでは、励磁インピーダンスは低下するが、平衡を保ったまま低下するので、中性線には信号電流が流れない。したがって、信号電流に関しては平衡状態である。

インピーダンスボンドは鉄心を励磁するための鉄損や巻き線の電圧降下による銅損、巻き線間の磁束の漏れによる損失などがあるので、それらを厳密に考慮すると図の等価回路になる。しかし、軌道回路に使用するインピーダンスボンドは z_1 、 z_2 の値が比較的小さいので、一般的には図の簡易な等価回路を使用する。

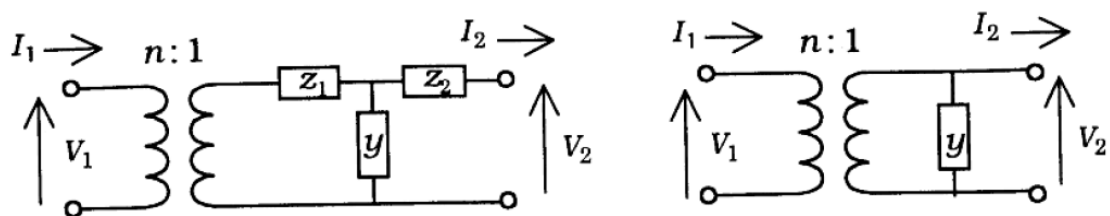


図 3.2 インピーダンスボンドの等価回路

3.3.3 軌道回路全体のモデル化

以上の項目を考慮に入れ、軌道回路全体を電氣的にモデル化する。

図 3.3 が軌道回路全体の電氣的モデルである。

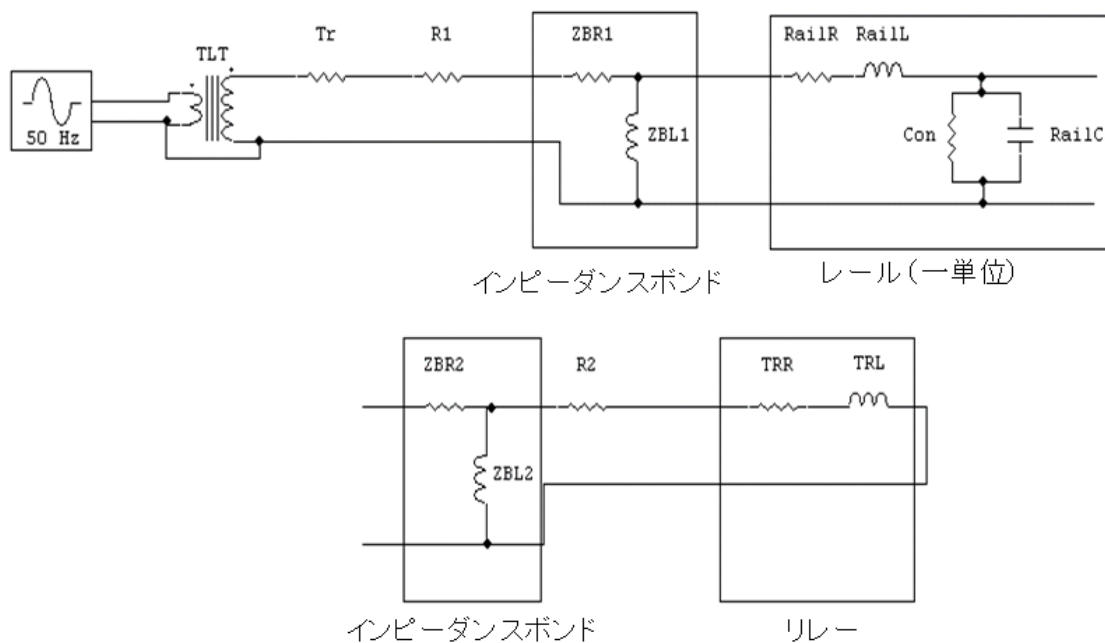


図 3.3 軌道回路のモデル

表 3.1 軌道回路モデル構成素子

記号	名称	値
電源	電源	110V 50Hz
TLT	軌道トランス	110:6
Tr	軌道抵抗子	0.1 Ω
R1	ケーブル抵抗	0.05 Ω
ZBR1	インピーダンスボンド抵抗	0.05 Ω
ZBL1	インピーダンスボンド励磁インピーダ ンス	1.6mH
RailR	レール抵抗	0.5/5 Ω
RailL	レールインダクタンス	2.0/5mH
Con	漏れコンダクタンス	可変
RailC	レール間静電容量	1.0*5uF
ZBR1	インピーダンスボンド抵抗	0.05 Ω
ZBL1	インピーダンスボンド励磁インピーダ ンス	1.6mH
R2	ケーブル抵抗	0.05 Ω
TRR	リレー抵抗	0.1 Ω
TRL	リレーインダクタンス	1.9mH

3.3.4 故障状態のモデル化

短絡物を抵抗で置き換える。

図のように抵抗で結んでやることで、送電ケーブル短絡、受電ケーブル短絡、レール間短絡をモデル化する。

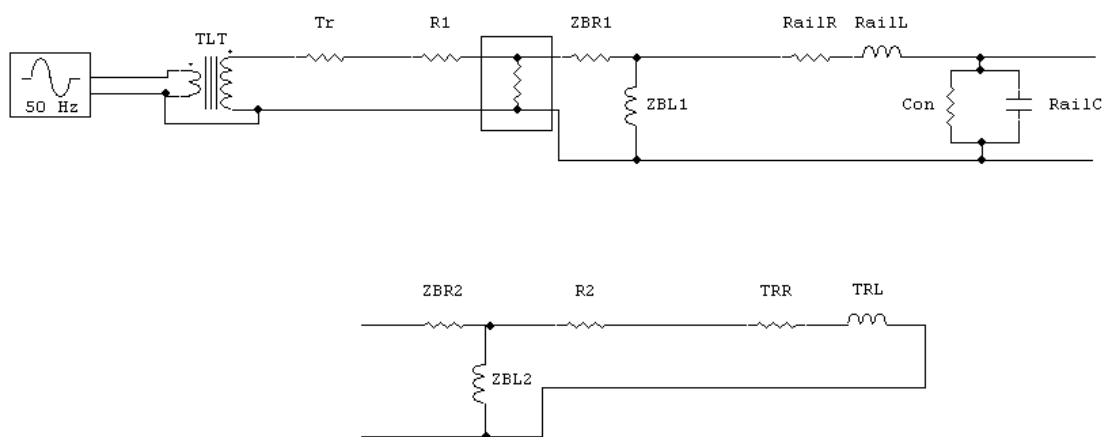


図 3.4 送電ケーブル短絡のモデル化

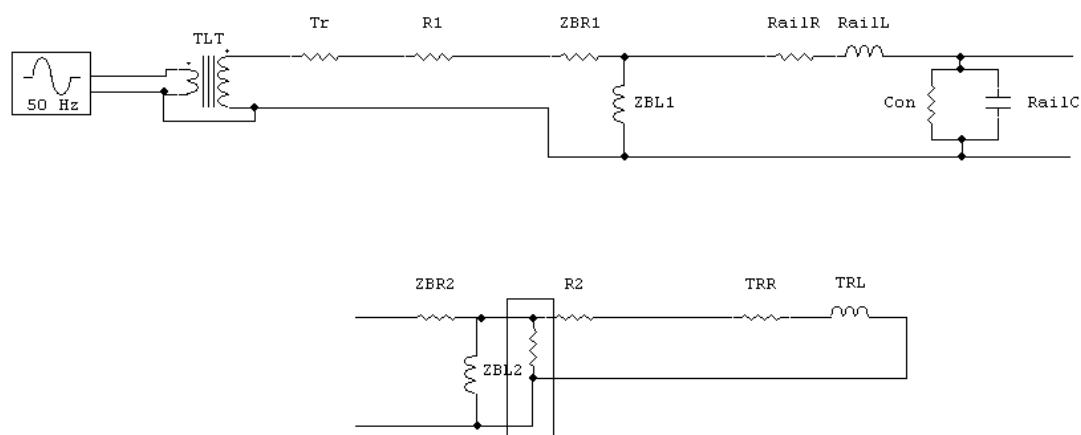


図 3.5 受電ケーブル短絡のモデル化

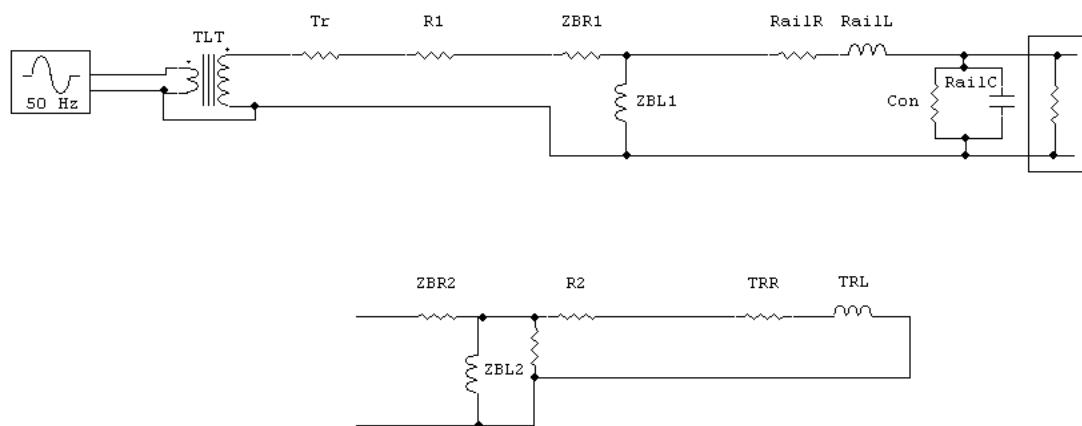


図 3.6 レール間短絡のモデル化

軌道回路全体、短絡状態をモデル化した。実際の回路との整合性も先行研究により示されている。本研究では、このシミュレーションモデルをもとに短絡位置特定に電圧・電流値の有効な測定点や特定方法の開発を進めていく。

第4章 特定軌道回路の短絡位置特定

4.1 緒言

測定する電圧電流に関して、電圧電流計をレール付近に設置することはできないので機器室内の電圧値・電流値を測定することで短絡位置を特定する手法を開発する。

前章でモデル化した軌道回路をもとに、まずはある一つの軌道回路について短絡位置特定が機器室内で得られるデータのみから可能かどうかについて検討する。

そこから見えてくる軌道回路の電圧電流値の挙動傾向をつかむ。

4.2 対象軌道回路

前章で述べた軌道回路について、短絡位置特定手法を検討する。

具体的には軌道回路ごとに異なるパラメータは軌道回路長、ケーブル抵抗、漏れ抵抗であるが、それぞれを軌道回路長 1000m(200×5m)、ケーブル抵抗 $0.05\ \Omega$ 、漏れ抵抗 $10\ \Omega \cdot \text{km}$ の回路について検討する。下図は対象軌道回路のシミュレーションモデルである。

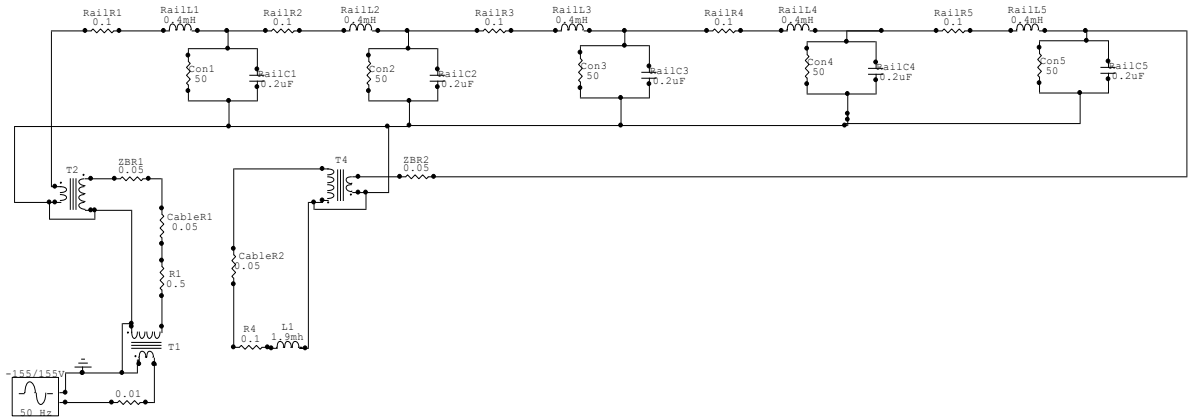


図 4.1 対象軌道回路

4.3 各測定点シミュレーション結果

先行研究により様々な箇所の電流値電圧値が測定された。結果のうち短絡位置特定に有効な値を示すものがないか検討する。

図 4.1 の送電側と受電側の二点の電圧値を測定すると、有効なのではないかという点がある。この測定点を図 4.2 に示す。

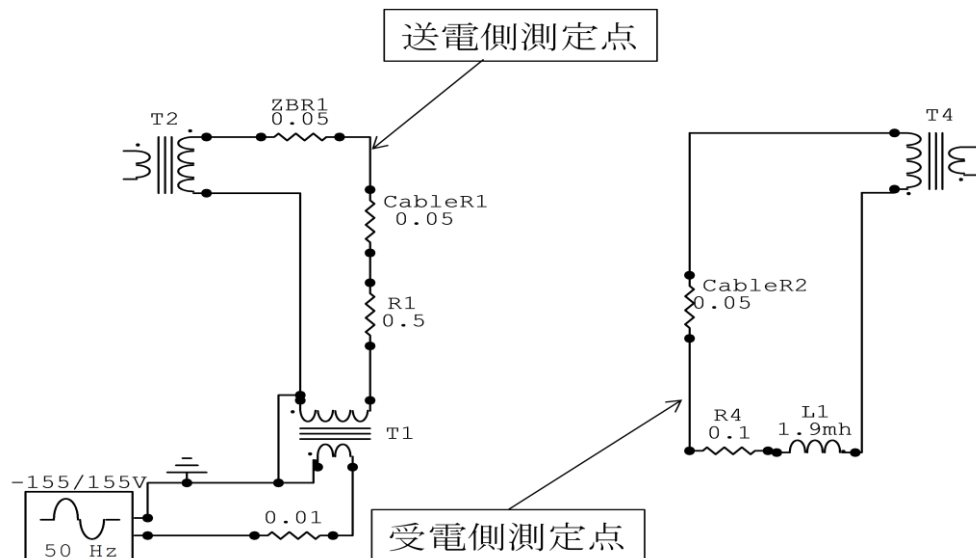


図 4.2 短絡位置特定有効測定点

図 4.2 の測定点で得られる電圧値に着目する。まず受電側測定点での電圧変化を図 4.3 に示す。

各短絡抵抗値で短絡位置を変えて短絡させてやり、その時の受電側測定点の電圧変化を表わしている。

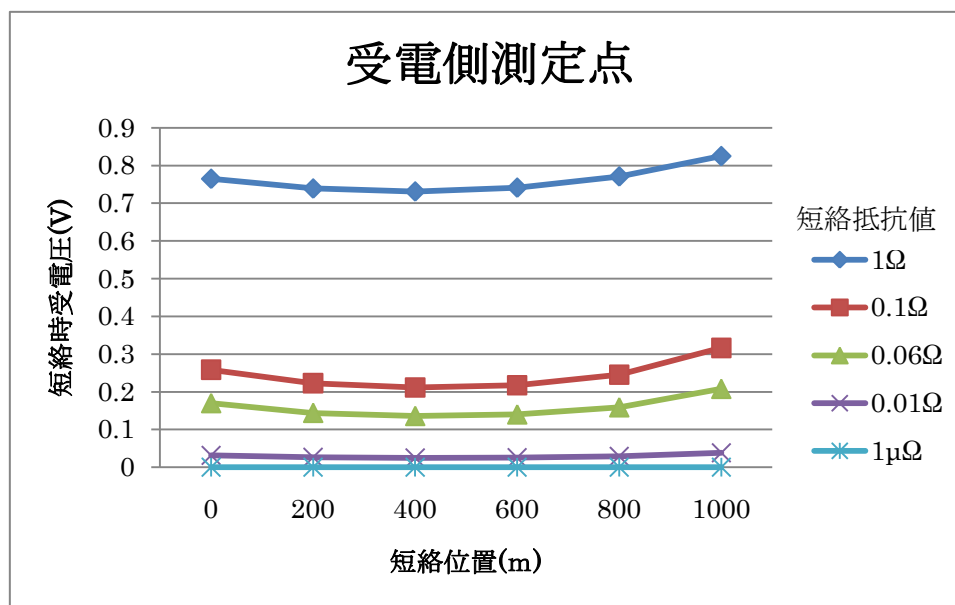


図 4.3 受電側測定点電圧変化

同様に図 4.4 で送電側測定点の電圧変化を表わす。各短絡抵抗値で短絡位置を変えて短絡させてやり、送電側測定点の電圧変化を表わす。

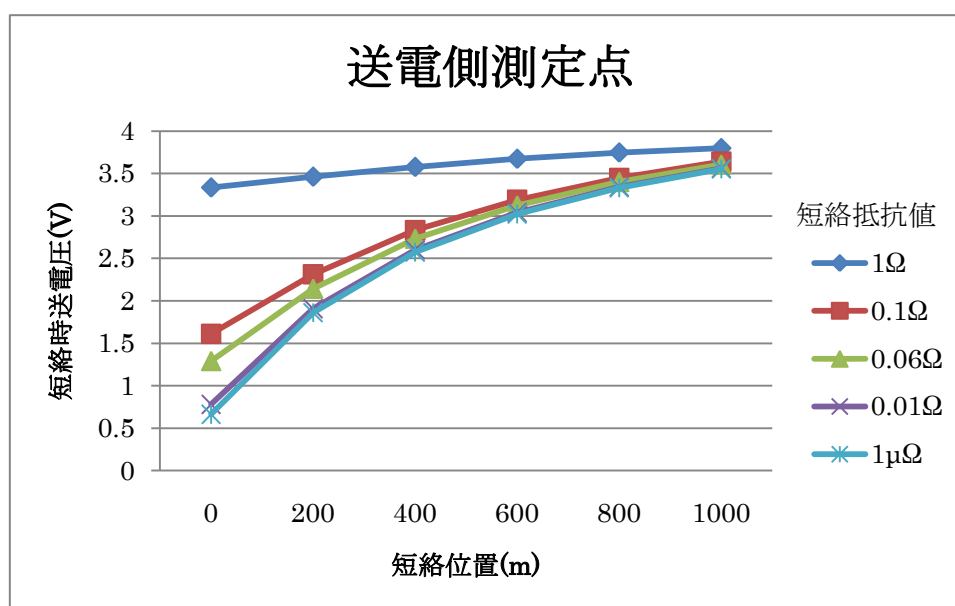


図 4.4 送電側測定点電圧変化

受電側測定点から得られる電圧を受電圧、送電側測定点から得られる電圧を送電圧とよぶ。図 4.3 から受電圧は短絡位置によらずほとんど一定で短絡抵抗値による影響を受ける曲線だが、図 4.4 から送電圧は短絡位置とともに単調増加している。受電圧側からどの程度の短絡抵抗で短絡したかを判別し、その短絡抵抗の時に送電圧が短絡位置とともに増加するので、送電圧を読んでやることで短絡位置を決定することができそうである。

4.4 送電圧曲線の簡易化

送電圧曲線を一般的な式に表すことができないかを考える。ここで前に示された送電圧の単調増加の形に着目する。ここで送電圧の値を V_s としてやり、短絡位置 L_r とする。

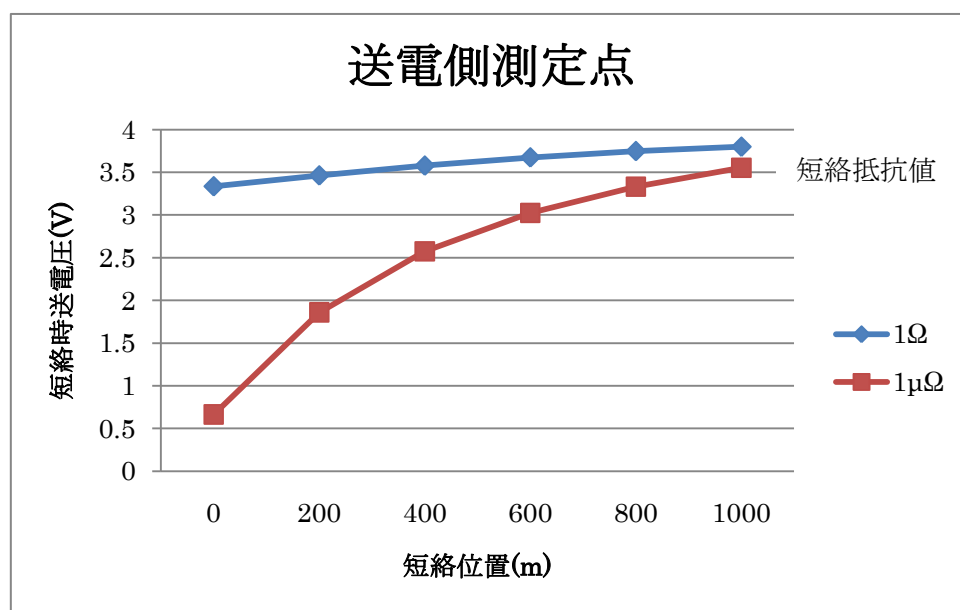


図 4.5 送電圧と短絡位置の関係

図 4.5 の増加曲線を簡易化して扱うために、図 4.5 の増加関数の形に着目し様々な関数で近似式を試した結果として次のような変換を施す。

V_s をある定数 x として x^{V_s} という値をとる。図 4.5 の縦軸を x^{V_s} として、適当な x を入れてやると x^{V_s} と短絡位置は比例関係になる。図 4.6、図 4.7 は x の値を変えてやることで比例になる x があることを示している。わかりやすくするため x^{V_s} を 1000m で短絡した時の x^{V_s} で割ってやってものを縦軸にとった。

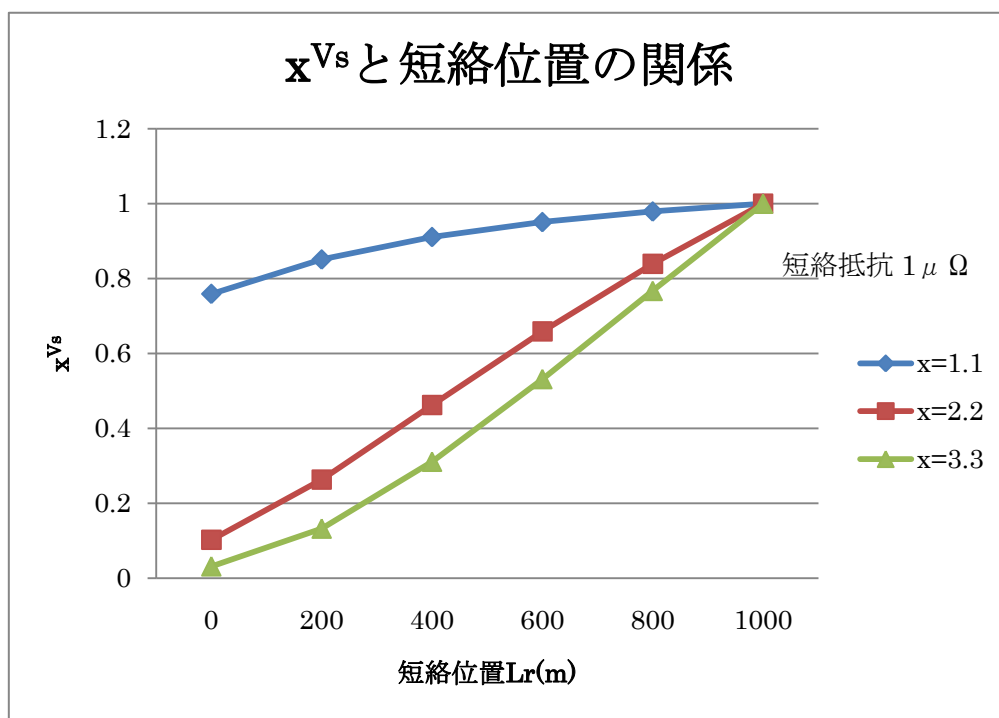


図 4.6 1 $\mu\Omega$ で短絡した時の x^{Vs} と短絡位置の関係

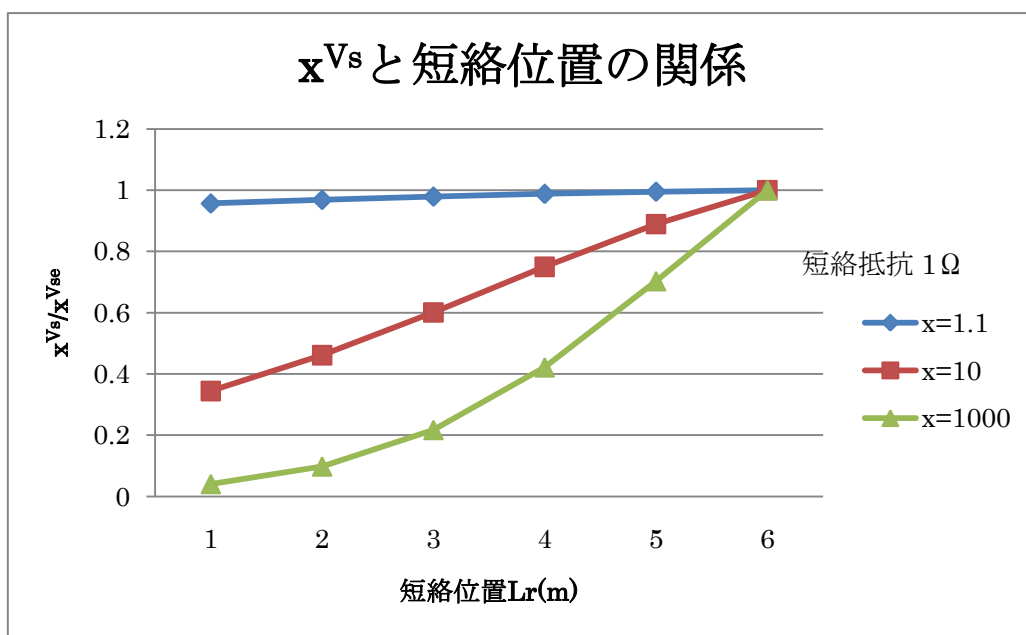


図 4.7 1 Ω で短絡した時の x^{Vs} と短絡位置の関係

図 4.6 では $x=2.2$ 、図 4.7 では $x=10$ 程度で、 x^{Vs} と短絡位置の関係は比例関係になっている。どの短絡抵抗で短絡したときも x^{Vs} と短絡位置の関係は適当な x をとってやれば線形になるということが分かる。

この比例関係が成り立つことでのメリットは、短絡位置算出時に 0m 点が短絡した時の送電圧値を V_{ss} 、1000m 点が短絡した時の値を V_{se} としてやり V_s と L_r の関係について下式の近似が成り立つ。

$$L_r = \text{軌道回路長}1000\text{m} \times \frac{x^{V_s} - x^{V_{ss}}}{x^{V_{se}} - x^{V_{ss}}} \quad (\text{式 4.1})$$

送電圧の曲線は短絡抵抗によって違うので短絡抵抗ごとに定数 x の値が違ってくる。短絡抵抗 r と定数 x の関係を図 4.7 に示す。

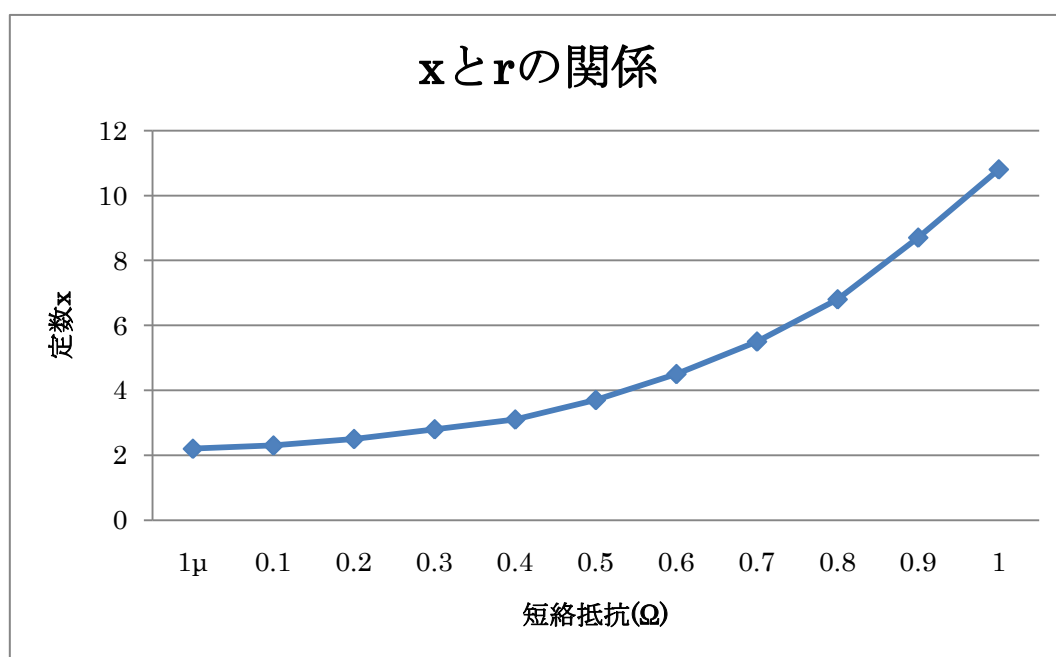


図 4.8 定数 x と短絡抵抗値 r の関係

式 4.1 と図 4.8 からでる x の値から算出した送電圧 V_s と短絡位置 L_r の関係の曲線と実際に短絡している時の送電圧と短絡位置の関係が近似的に同じであるかどうかを図 4.9 で示している。

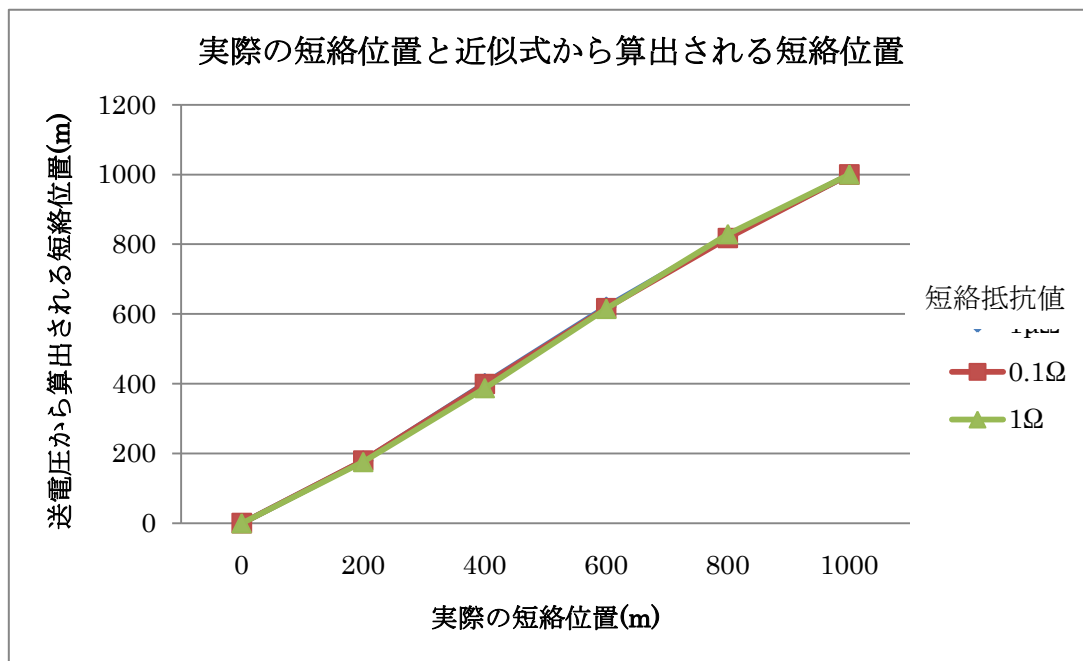


図 4.9 実際の短絡位置と近似式から算出される短絡位置の関係

この近似式を用いて問題ないように思われる。

4.5 短絡位置特定方法

4.4 で示した短絡位置特定手法についてまとめる。

まず、必要なそれぞれの値を記号で定義する。

表 4.1 が記号の定義である。

表 4.1 記号の定義

短絡時受電圧(V)	V_{ro}
短絡時送電圧(V)	V_{so}
短絡抵抗値(Ω)	r
仮に始点短絡した時の電圧(V)	V_{ss}
仮に終点短絡した時の電圧(V)	V_{se}
短絡位置(m)	L_r

まず短絡が起こった時に受電圧の値を測定する。受電圧は短絡位置 L_r によらずほぼ一定の値を示し、受電圧 V_{ro} は短絡抵抗 r にのみ影響を受けるので、図 4.10 の受電圧と短絡抵抗の関係から短絡物(短絡抵抗 r)を決定する。

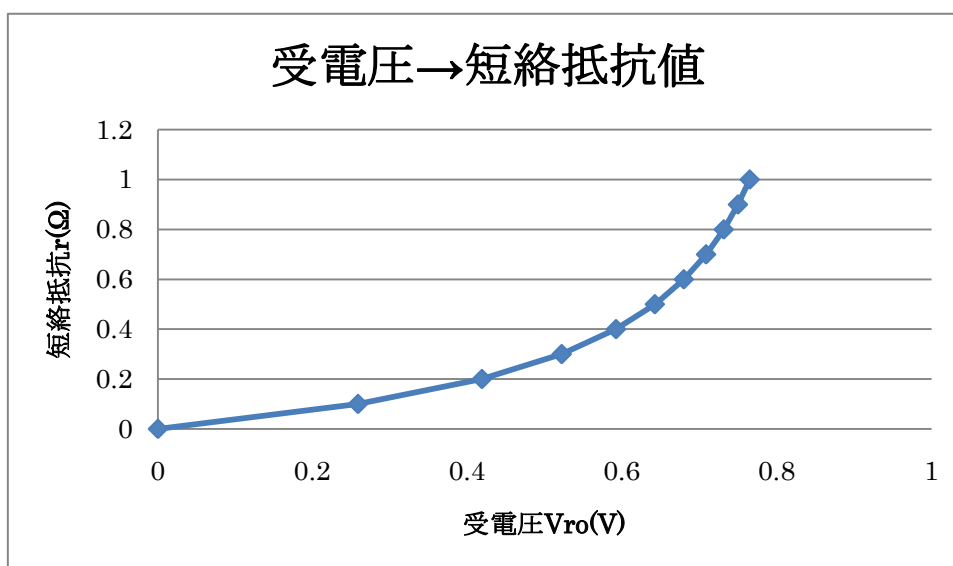


図 4.10 受電圧と短絡抵抗の関係

その短絡抵抗 r の時の仮に始点が短絡している時の送電圧 V_{ss} と仮に終点が短絡している時の送電圧 V_{se} を決定する。

図 4.11、図 4.12 のような関係がある。

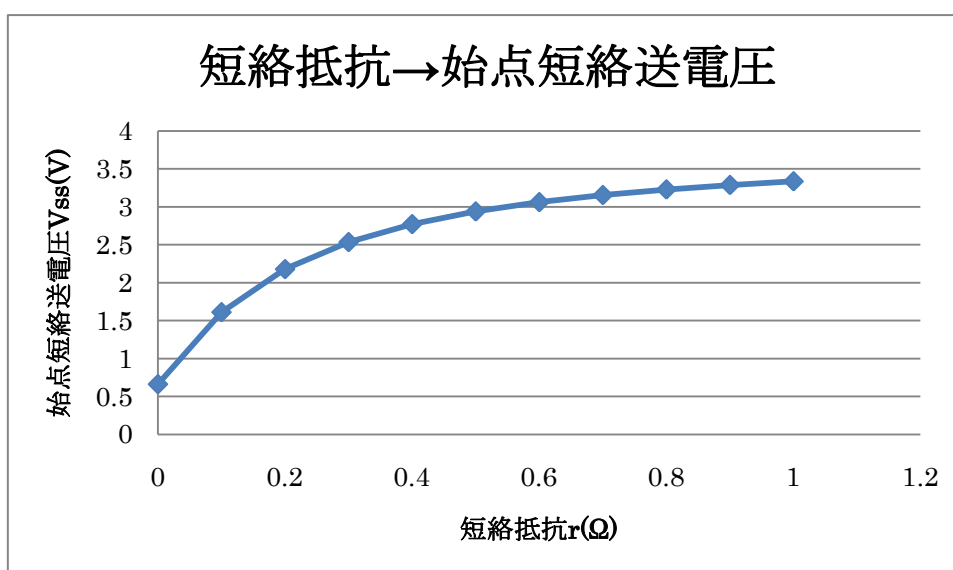


図 4.11 短絡抵抗と始点短絡送電圧の関係

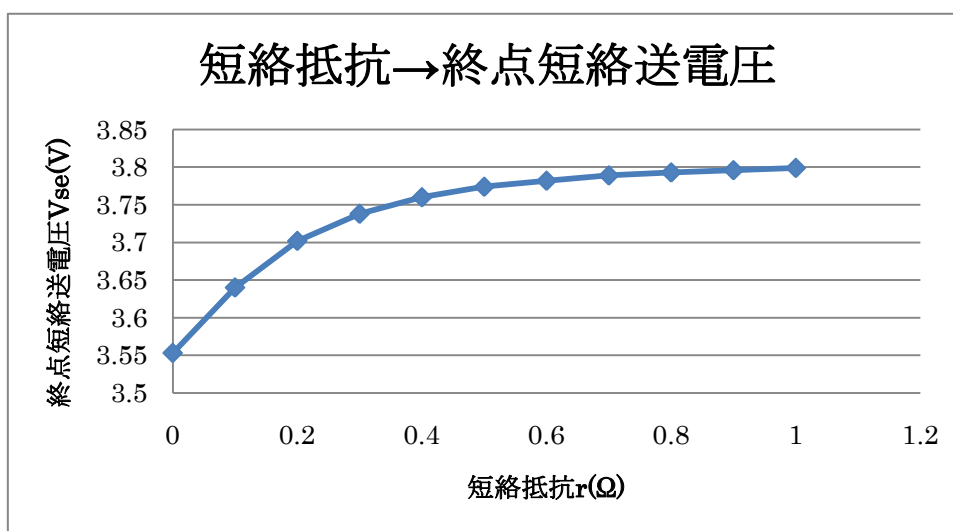


図 4.12 短絡抵抗と終点短絡送電圧の関係

次に r から定数 x を図 4.13 から求める。

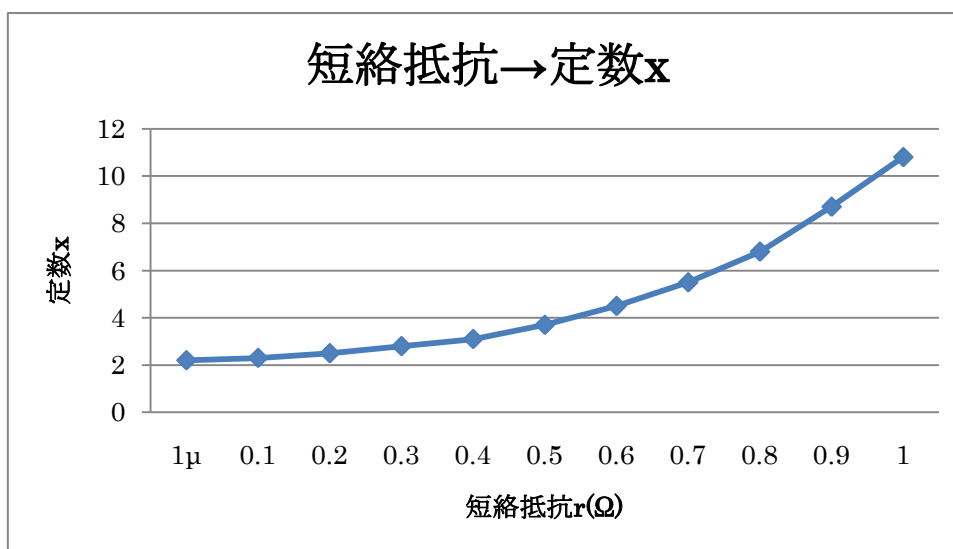


図 4.13 短絡抵抗と定数 x の関係

始点短絡送電圧 V_{ss} と終点短絡送電圧 V_{se} と定数 x の値がわかると、実際に短絡が起きている時の送電圧の値 V_{so} も用いて式(4.1)で、短絡位置 L_r を特定する。図 4.14 は短絡位置特定手法の簡単なフローチャートである。

$$L_r = \text{軌道回路長}1000\text{m} \times \frac{X^{V_{so}} - X^{V_{ss}}}{X^{V_{se}} - X^{V_{ss}}} \quad (4.1)$$

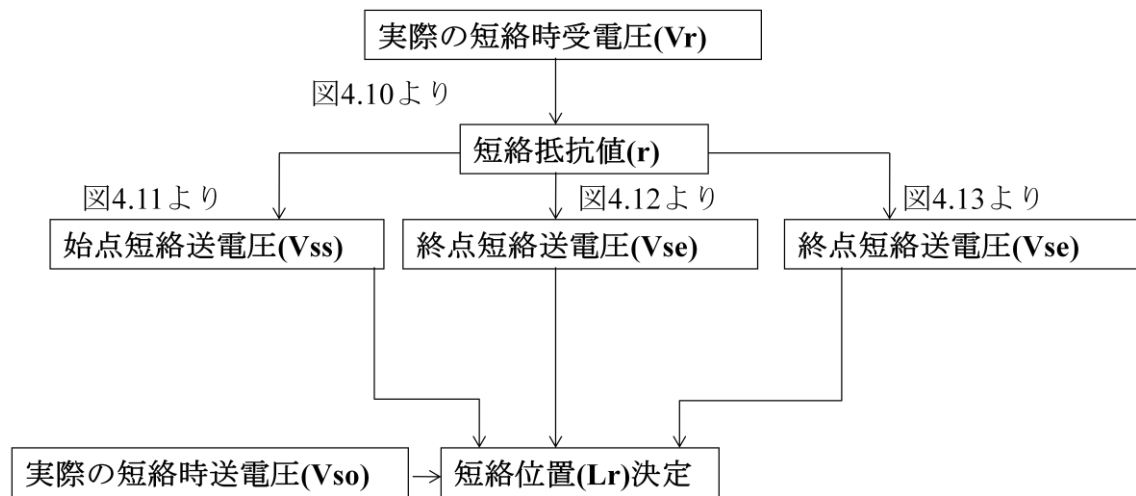


図 4.14 短絡位置特定フローチャート

4.6 考察

この軌道回路についてある程度の短絡位置算出ができそうである。しかし、この短絡位置特定手法が一般的な軌道回路に適用できるのかどうかを考える必要がある。様々なパラメータを変えてやった時に成り立たなくなるものがあれば考慮しなければならない。

この算出方法を基に一般的な商用周波数軌道回路の短絡位置特定ができるかどうかの研究を進めていく。

第5章 一般的商用周波数軌道回路への拡張

5.1 緒言

前章ではある特定の軌道回路について短絡位置が特定できるかどうかについて検討してきた。しかし実際に使われている軌道回路には様々種類がある。そこで一般的に使われている商用周波数軌道回路に前章で述べた短絡位置特定手法が適用できるのかを検討する。

前章で述べた軌道回路と一般に使われている軌道回路とで違う点は各種パラメータである。具体的には、送電側ケーブル抵抗、受電側ケーブル抵抗、軌道回路長がそれぞれの軌道回路で違っている。また漏れ抵抗についても一通りでやってきたが環境によって変わるパラメータであるので検討しなければならない。

5.2 各パラメータの影響

5.2.1 システムに必要なもの

前章で述べたシステムに必要な値は何かということについて述べる。それらがそれぞれのパラメータを変えたときにどれほどの影響を受けるかについて述べていく。

- ・受電圧は短絡位置によってあまり変化を受けず、短絡抵抗値のみによって決まるものであるのか。

- ・近似式 $L_r = \text{軌道回路長} \times \frac{X^{V_s} - X^{V_{ss}}}{X^{V_{se}} - X^{V_{ss}}}$ は、成り立つのか。つまり、短絡抵抗が同じ値の時 x は影響を受けるか。

- ・受電圧と始点短絡送電圧の関係は影響を受けるのか。

- ・受電圧と終点短絡送電圧の関係は影響を受けるのか。

上記四点に対して各々のパラメータが与える影響を検討する。

軌道回路ごとに異なるパラメータの範囲

- ・送電ケーブル抵抗 0~3Ω
- ・受電ケーブル抵抗 0~3Ω
- ・軌道回路長 10~3000m
- ・漏れ抵抗 1~100Ω・km

5.2.2 送電ケーブル抵抗値の影響

送電ケーブルの値を変化させた際 5.2.1 で示したものがどのように影響を受けるのかを検討する。送電ケーブルは軌道回路によって $0\sim 3\Omega$ 程度の変化をする。ケーブル抵抗値 0.1 、 1 、 3Ω について各々に違いがあるか調べる。その他の値は前章の値と同じものを用いている。

まず受電圧が短絡位置によらずほとんど一定かどうかについて述べる。図 5.1 はケーブル抵抗を三種類変えて、短絡抵抗 0.06Ω で短絡しているとき、受電圧が短絡位置によって変化しているかを検討した。

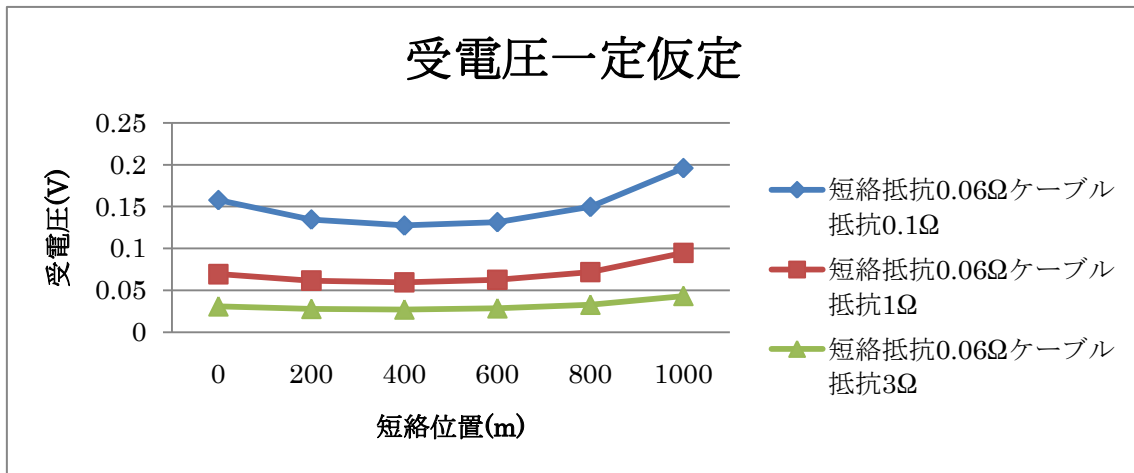


図 5.1 受電圧一定仮定に対する送電ケーブル抵抗の影響

受電圧一定仮定がどの程度成り立っているかこのグラフでは分かりにくいので、縦軸を(短絡時受電圧/正常時受電圧)というものに変え、短絡抵抗 0.01 、 0.06Ω で短絡させた時の受電圧が短絡位置によらないかを下図で示している。

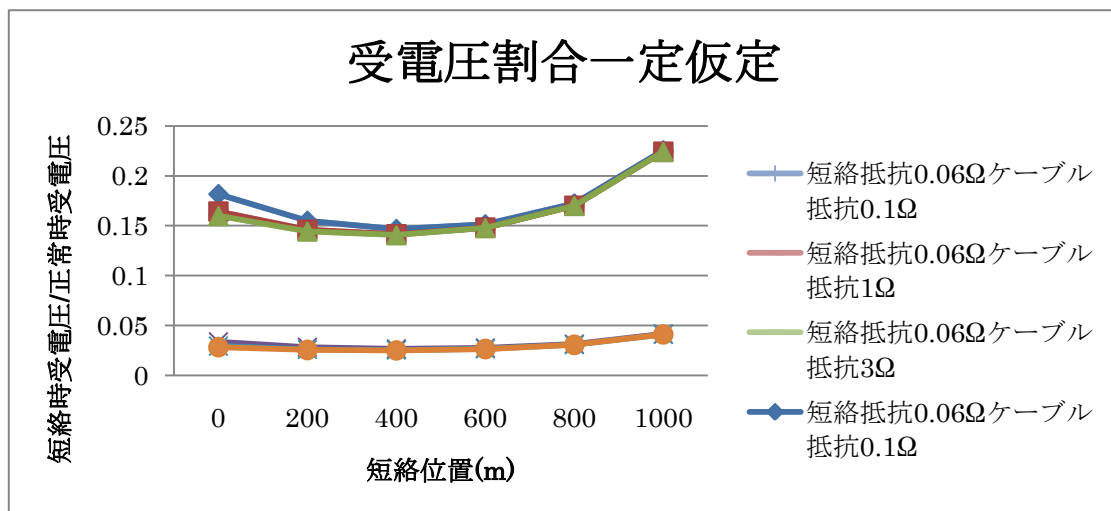


図 5.2 受電圧割合一定仮定に対する送電ケーブル抵抗の影響

受電圧は送電ケーブル抵抗の大きさによって多少の違いがある。

近似式で与えられる x について影響があるかどうかを図 5.3 に示す。

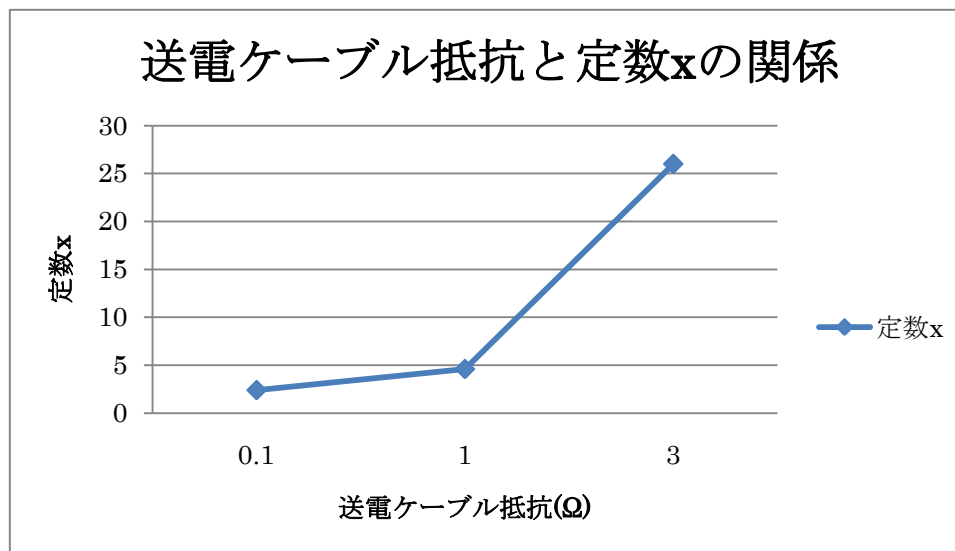


図 5.3 近似式に対する送電ケーブル抵抗の影響

近似式はケーブル抵抗ごとに違った定数 x を持つことが分かった。ケーブル抵抗による影響があると言える。

次に受電圧と仮に始点を短絡させたときの送電圧の関係と、受電圧と仮に終点を短絡させたときの送電圧の関係に送電ケーブル抵抗が影響を与えないかを検討する。

図 5.4 は受電圧と始点短絡送電圧の関係を示している。それぞれの送電ケーブル抵抗の時に値が違い、送電ケーブル抵抗により電圧値は影響を受けるといえる。

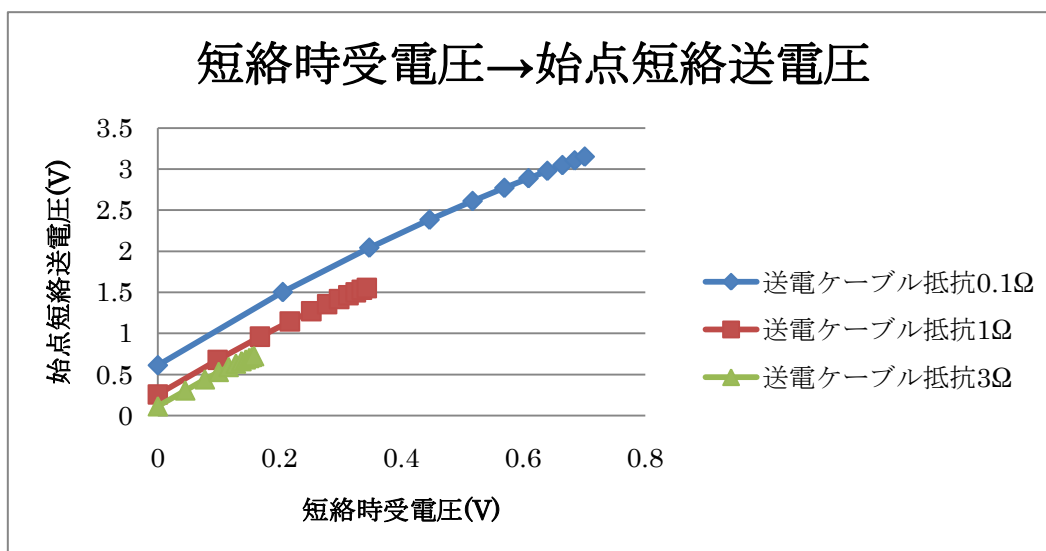


図 5.4 受電圧と始点短絡送電圧の関係に対する送電ケーブル抵抗の影響

しかしここでそれぞれの絶対値が動いたので、短絡が起こっていない時の正常値も動い

たのではないかと考えられる。それぞれの値を(短絡時受電圧/正常時受電圧)と(始点短絡送電圧/正常時送電圧)の関係というように変換してやる。図 5.5 がその関係を示している。送電ケーブル抵抗の値が変わっても、(短絡時受電圧/正常時受電圧)と(始点短絡送電圧/正常時送電圧)の関係にさほど影響を与えていないように思われる。

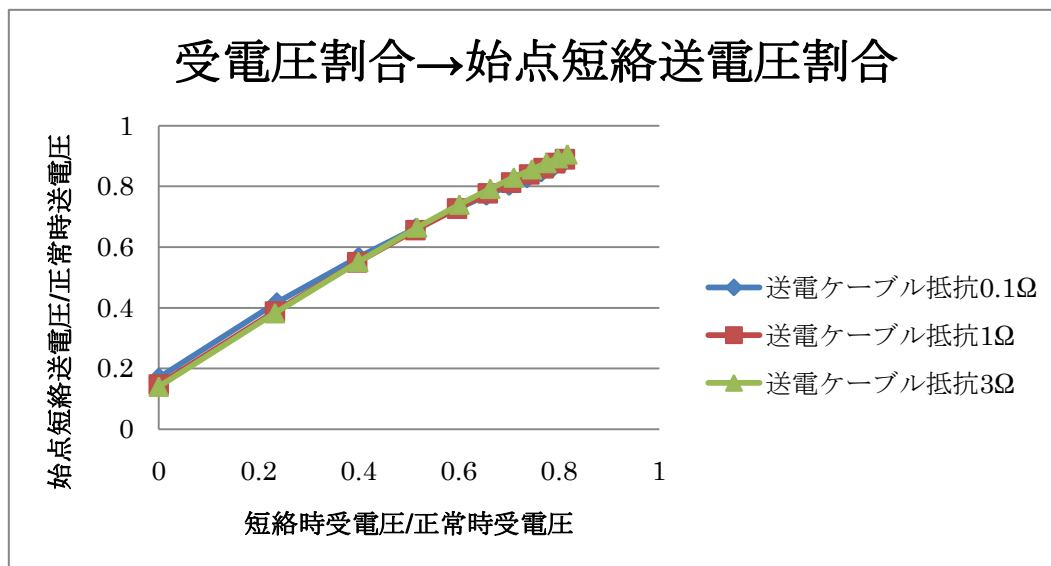


図 5.5 始点短絡送電圧割合に対する送電ケーブル抵抗の影響

次に受電圧と終点短絡送電圧の関係について検討する。

図 5.6 は受電圧と終点短絡送電圧の関係を示している。

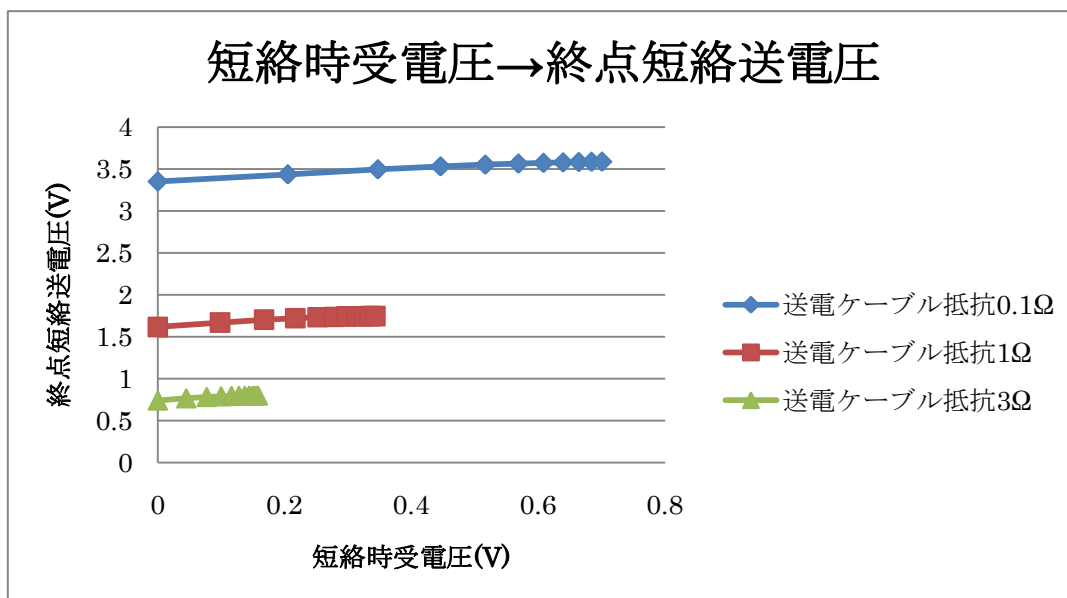


図 5.6 受電圧と終点短絡送電圧の関係に対する送電ケーブル抵抗の影響

一見すると、これも送電ケーブルの値が変わると、それぞれが違う曲線を表しているように思われる。しかし、これについても始点短絡送電圧の時同様に(短絡時受電圧/正常時受電圧)と(終点短絡送電圧/正常時送電圧)の関係に変えてみる。図 5.7 がその関係に対して送電ケーブル抵抗が影響を与えるかを示している。図 5.7 のように、送電ケーブル抵抗の値が変わっても、関係性はあまり変わらないことを示している。

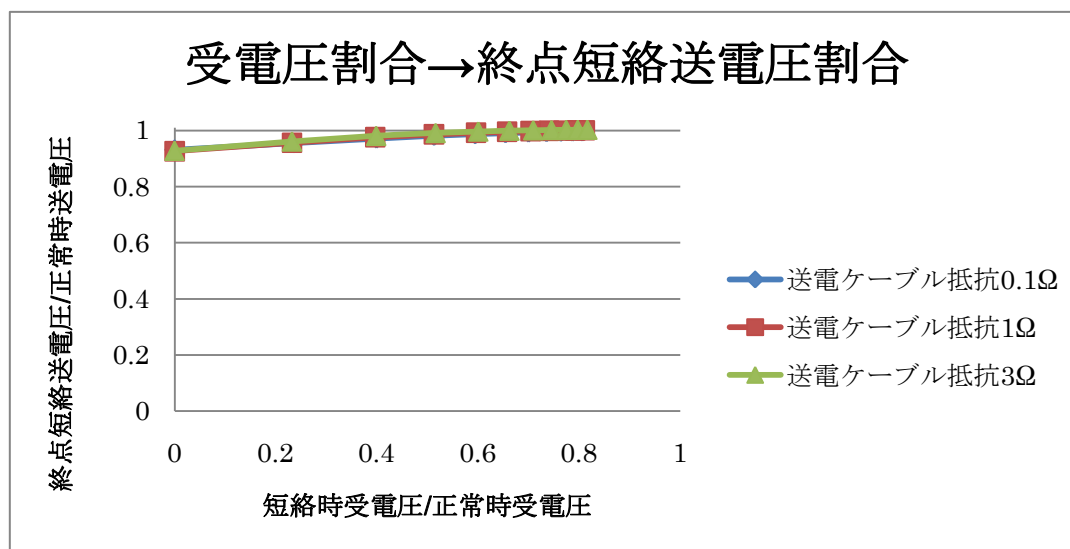


図 5.7 終点短絡送電圧割合に対する送電ケーブル抵抗の影響

送電ケーブル抵抗に関していうと、(短絡時の電圧値/正常時の電圧値)という値に目をつければ、どんな抵抗値の送電ケーブルでも前章で提案した短絡位置特定手法には影響を及ぼさない。

5.2.3 受電ケーブル抵抗の影響

送電ケーブル抵抗についてやってきたことを受電ケーブル抵抗についても調べた。受電ケーブル抵抗 0.1Ω、1Ω、3Ωと変えてやると違いが出るのかどうかについて検討する。送電ケーブル抵抗の時同様に(短絡時の電圧値/正常時の電圧値)という値に着目すると様々なところで影響をなくせるので、この値について調べた。

まず受電圧が短絡位置によらず一定の仮定について結果を図 5.8 に示す。

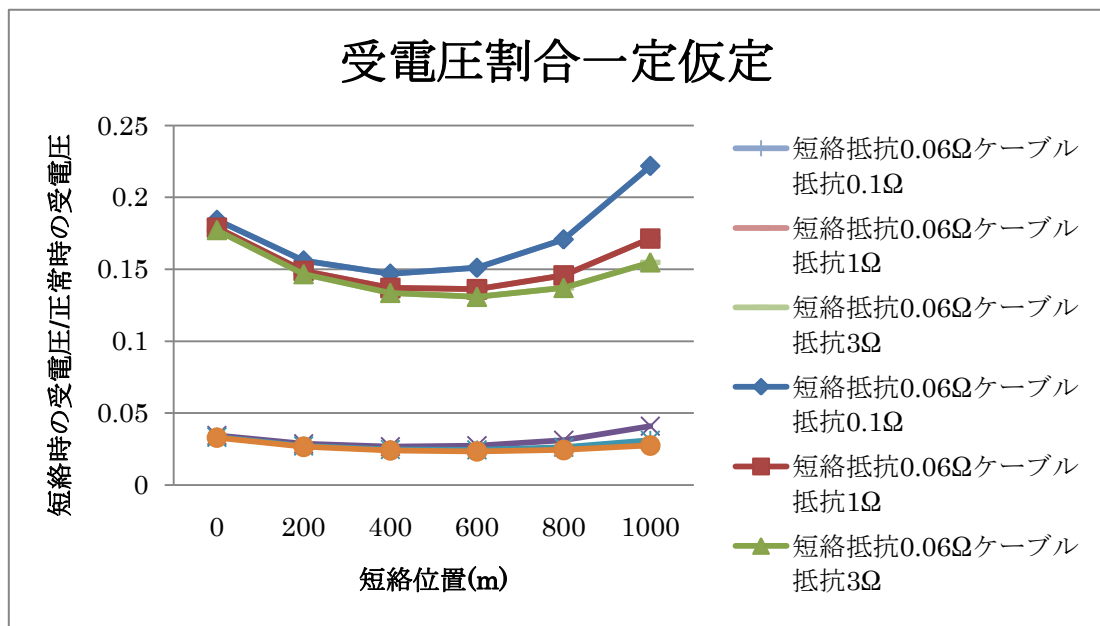


図 5.8 受電圧割合一定仮定に対する受電ケーブル抵抗の影響

受電ケーブル抵抗の値によって受電圧割合の値が上下している。しかし上下幅は短絡位置によるたわみの範囲内であるように思われる。

次に近似式で必要になる定数 x について影響があるかどうかについて調べる。

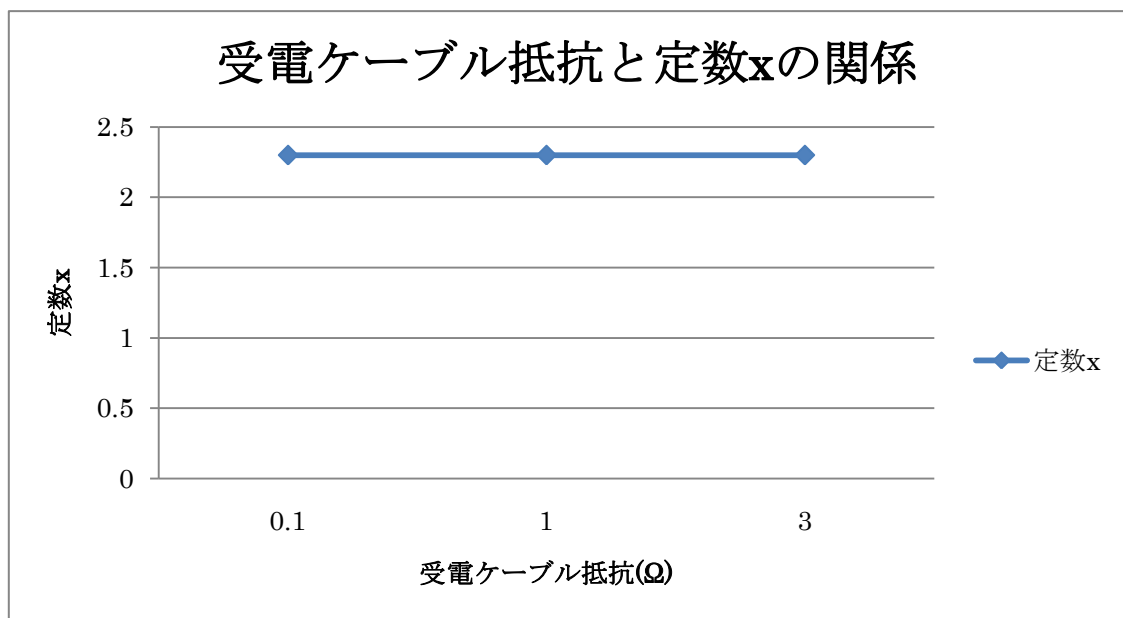


図 5.9 近似式に対する受電ケーブル抵抗の影響

受電ケーブル抵抗は送電圧に影響を及ぼさず、定数 x にも影響を及ぼさないようである。次に(短絡時受電圧/正常時受電圧)と(始点短絡送電圧/正常時送電圧)の關係に受電圧が影

響を及ぼすかどうかについて図 5.10 で示す。それぞれのケーブル抵抗の時の関係は同じ直線と言える。影響はないようである。

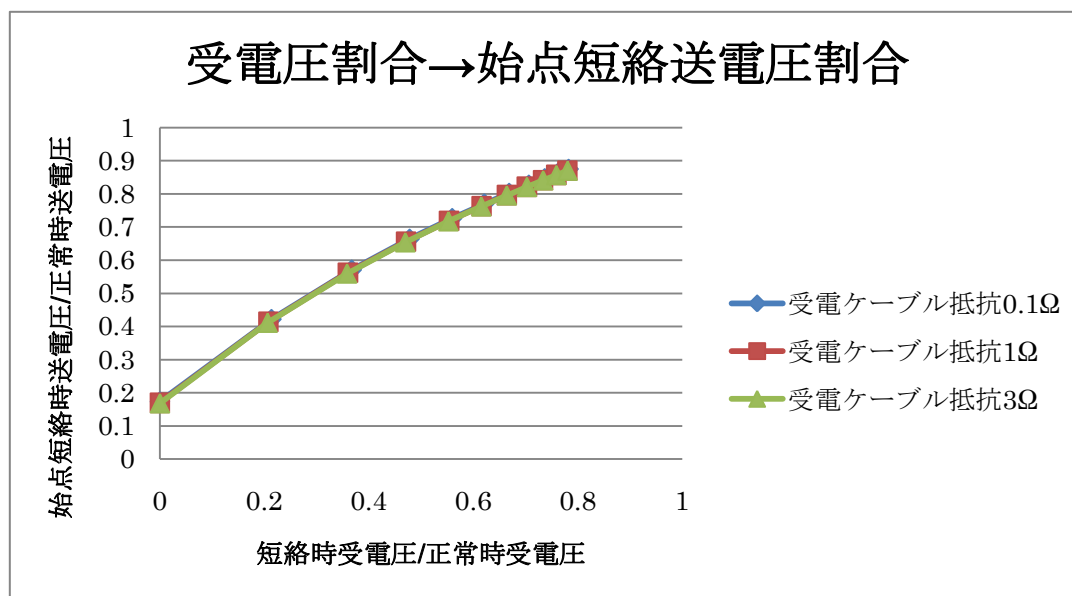


図 5.10 始点短絡送電圧割合に対する受電ケーブル抵抗の影響

同様に(短絡時受電圧/正常時受電圧)と(終点短絡送電圧/正常時送電圧)の関係に受電圧が影響を及ぼすかどうかについて図 5.11 で示す。

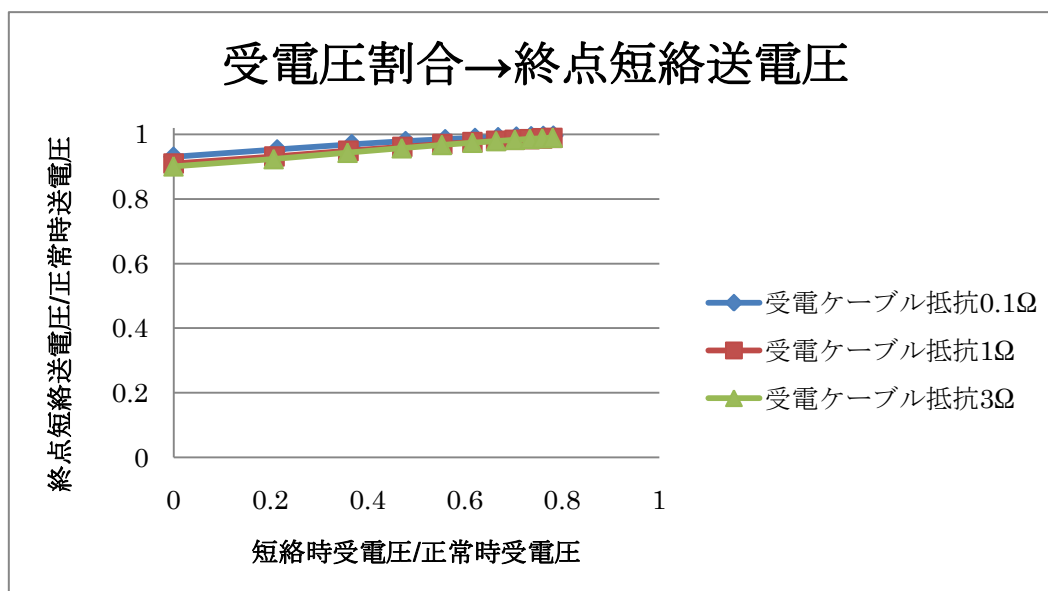


図 5.11 終点短絡送電圧割合に対する受電ケーブル抵抗の影響

これも受電ケーブル抵抗を変えてやってもほとんど影響のないレベルと言っていい。

5.2.4 軌道回路長の影響

軌道回路長 10,100,1000,3000m についてそれぞれのグラフに影響を与えるか検討する。

まず、受電圧が短絡位置によらず、短絡抵抗のみによって決まるのかを図 5.12 に示す。
短絡抵抗 0.01,0.06 Ω で各軌道回路を短絡させた時の受電圧割合を示した。

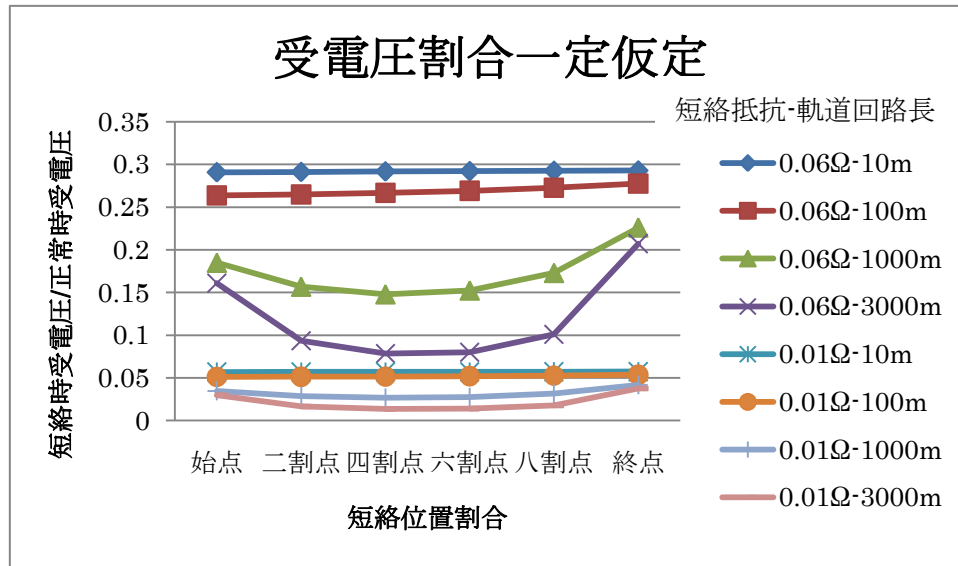


図 5.12 受電圧割合一定仮定に対する軌道回路長の影響

図 5.12 から軌道回路が短いものほど受電圧割合は短絡位置によらず一定に近づくことが分かる。

次に近似式が成り立つ x に軌道回路長が影響するかどうかを調べた。

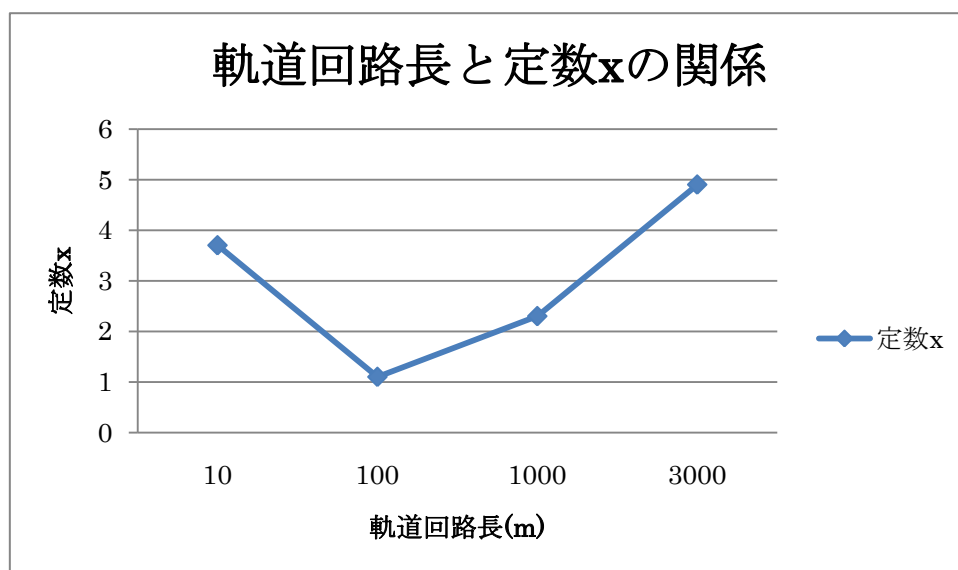


図 5.13 近似式に対する軌道回路長の影響

軌道回路長毎に定数 x の値はずれていて影響を受けるといえる。

次に受電圧と始点短絡送電圧の関係について影響があるかどうかを考える。

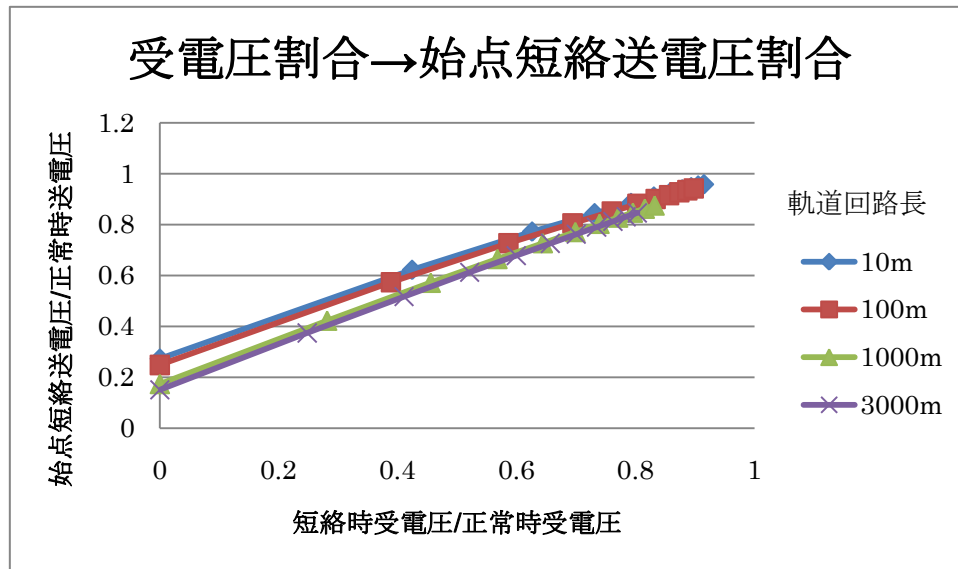


図 5.14 始点短絡送電圧割合に対する軌道回路長の影響

軌道回路長ごとに多少値が違っているように思われる。

次に受電圧と終点短絡送電圧の関係について影響があるかどうかを検討する。

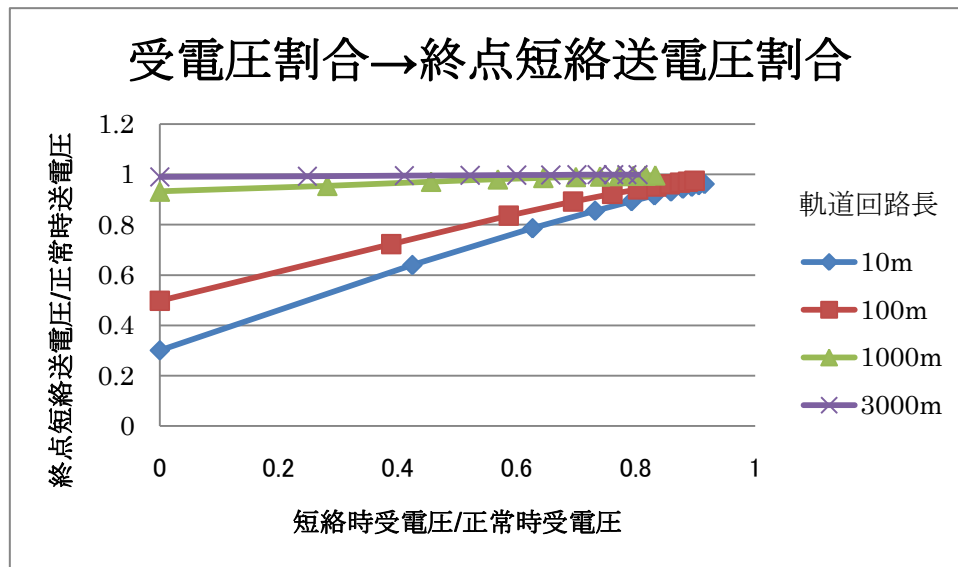


図 5.15 終点短絡送電圧割合に対する軌道回路長の影響

軌道回路長ごとに値が大きく違っているように思われる。

5.2.5 漏れ抵抗値の影響

漏れ抵抗についても変化したときに影響がどの程度あるのかを検討する。

まずは受電圧が短絡位置によらずにある程度一定という仮定に漏れ抵抗が変化したときに影響があるのかどうかを示す。

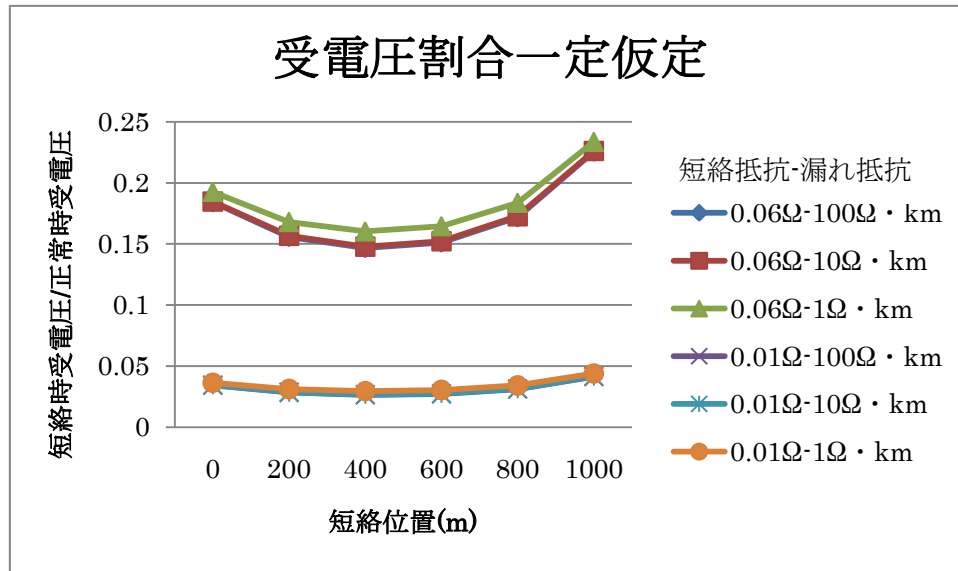


図 5.16 受電圧割合一定仮定に対する漏れ抵抗の影響

漏れ抵抗の違いによって短絡抵抗を大きく読み違えることはなさそうである。

次に近似式中の定数 x に漏れ抵抗が影響を与えるかどうかを調べる。

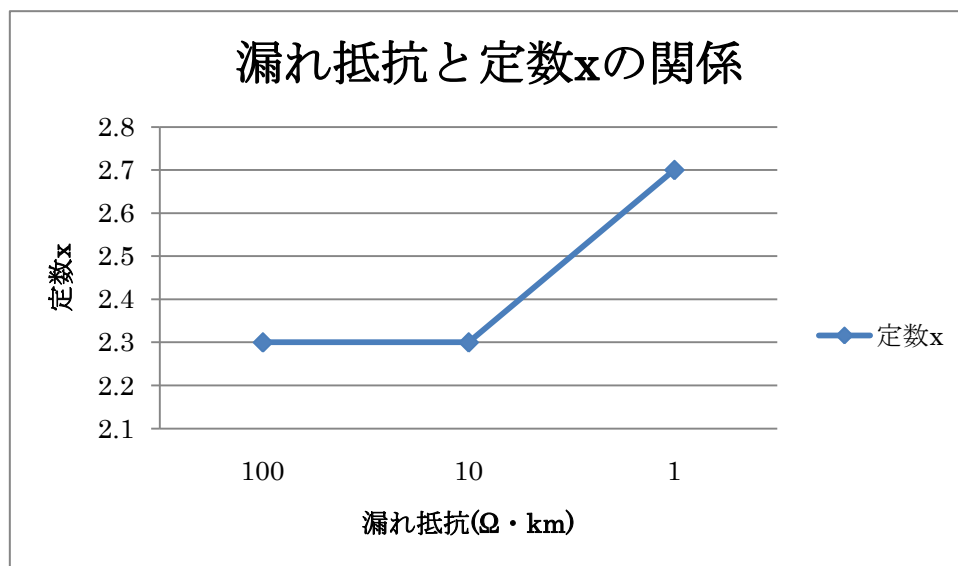


図 5.17 近似式に対する漏れ抵抗の影響

漏れ抵抗の違いによってわずかに定数 x はずれる。

次に受電圧と始点短絡送電圧の割合の関係に漏れ抵抗が影響を及ぼすかどうかについて検討する。

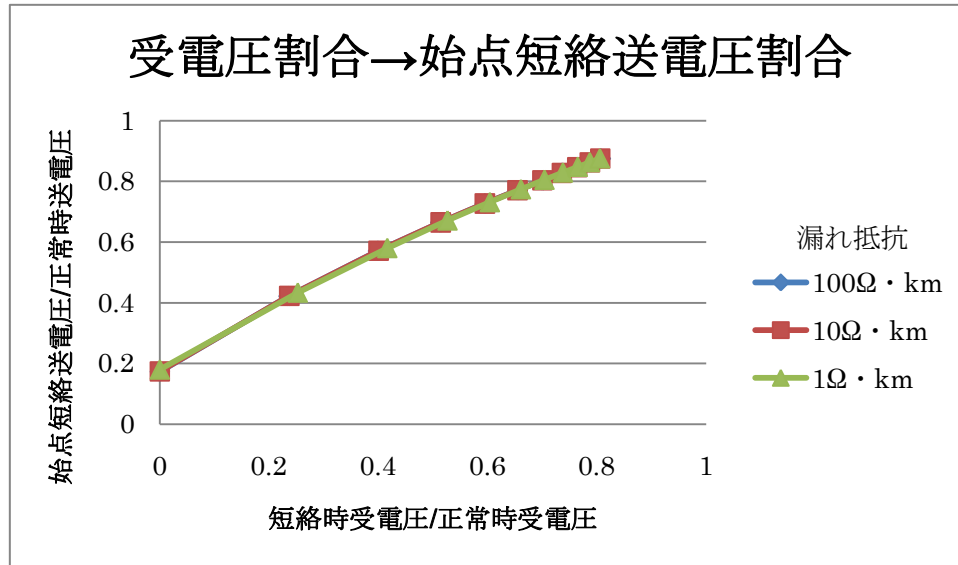


図 5.18 始点短絡送電圧割合に対する漏れ抵抗の影響

漏れ抵抗によって関係性に違いは出てこないように思われる。

同様に受電圧と終点短絡送電圧の関係に影響があるかを図 5.19 に示す。

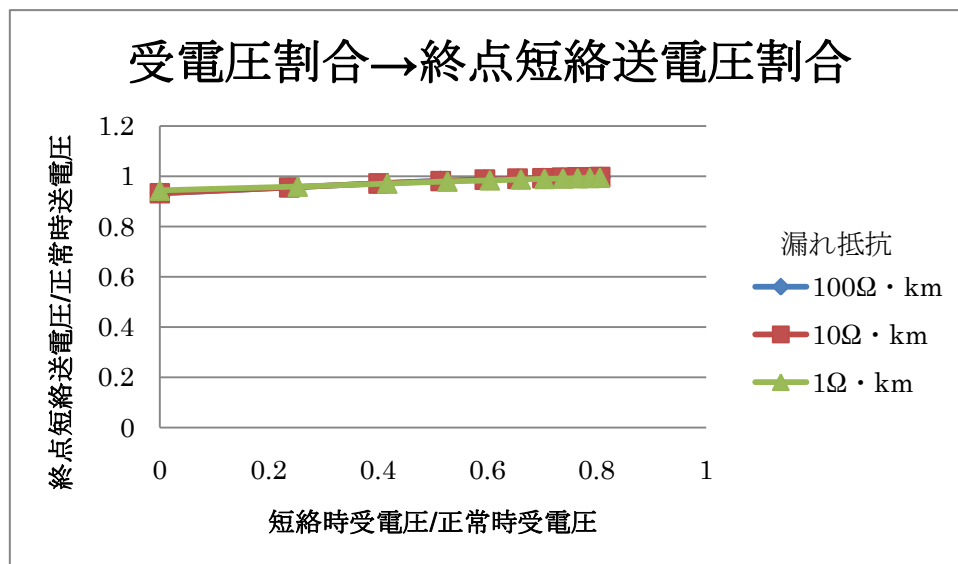


図 5.19 終点短絡送電圧割合に対する漏れ抵抗の影響

この関係も漏れ抵抗による影響は出ていないように思われる。

5.2.6 影響についてまとめ

これまで調べた結果を表にまとめた。各パラメータが変わるごとに値が変わってしまうものを×で示した。

表 5.1 各パラメータの影響

	送電ケーブル抵抗	受電ケーブル抵抗	軌道回路長	漏れ抵抗
受電圧一定仮定			×	
近似式(定数 x)	×		×	×
受電圧割合-始点短絡送電圧割合			×	
受電圧割合-終点短絡送電圧割合			×	

軌道回路長を変えると全ての値が動いてしまうので、考慮する必要がある。

近似式の定数 x は様々なものに影響を受ける。考え直す必要がある。

5.3 一般化

受電圧一定仮定、近似式が大きくなりすぎるため、軌道回路長は短いほうがよく 1000m 以下を対象として研究を進めていくことにする。現在、軌道回路は軌道回路長 1000m 以下のものが八割以上なので、これを対象に進めていく。

また送電ケーブルの変化や漏れ抵抗により定数 x が変化してしまっているのは、絶対値自体が大きく動いてしまうためであると考えられる。このため扱う値を短絡時送電圧/正常時送電圧という値で進めていく。 $x \wedge (\text{短絡時送電圧}/\text{正常時送電圧})$ という関数に入れて、線形を満たす x を見つける。この方法を取ると送電ケーブル抵抗の影響や漏れ抵抗の影響を無視して扱うことができる。

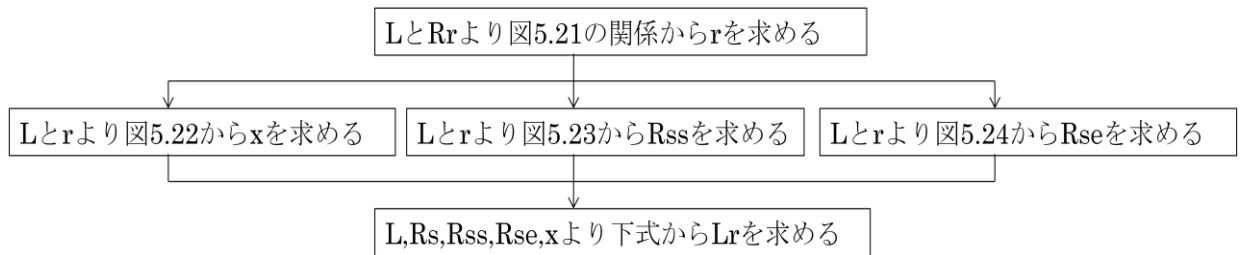
また全ての条件に軌道回路長が影響してくるので、軌道回路長ごとに関係をテーブルで用意しておいて、線形補間によって呼び出すことで算出する。

一般的商用周波数軌道回路に対する短絡位置特定方法を図 5.20 フローチャートにまとめる。

記号を表 5.2 のように定義する。

表 5.2 記号の定義(一般)

観測される値	軌道回路長(m)	L
	短絡時送電圧/短絡前送電圧	Rs
	短絡時受電圧/短絡前受電圧	Rr
途中算出される値	短絡抵抗値(Ω)	r
	仮にレール始点で短絡した時の送電圧/短絡前送電圧	Rss
	仮にレール終点で短絡した時の送電圧/短絡前送電圧	Rse
	定数	x
求めたい値	短絡位置(m)	Lr



*各図から求める際、線形補間する

図 5.20 一般的商用周波数軌道回路の短絡位置特定フローチャート

$$Lr = L \times \frac{X^{Rs} - X^{Rss}}{X^{Rse} - X^{Rss}} \quad \text{式(5-1)}$$

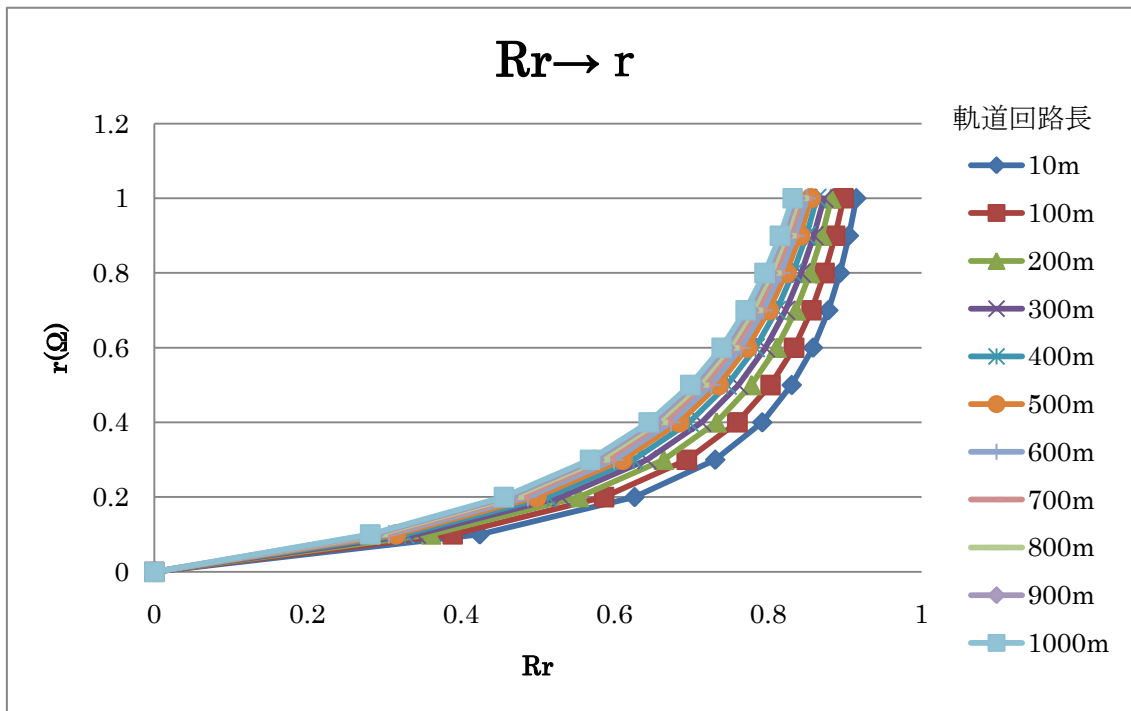


図 5.21 短絡抵抗算出

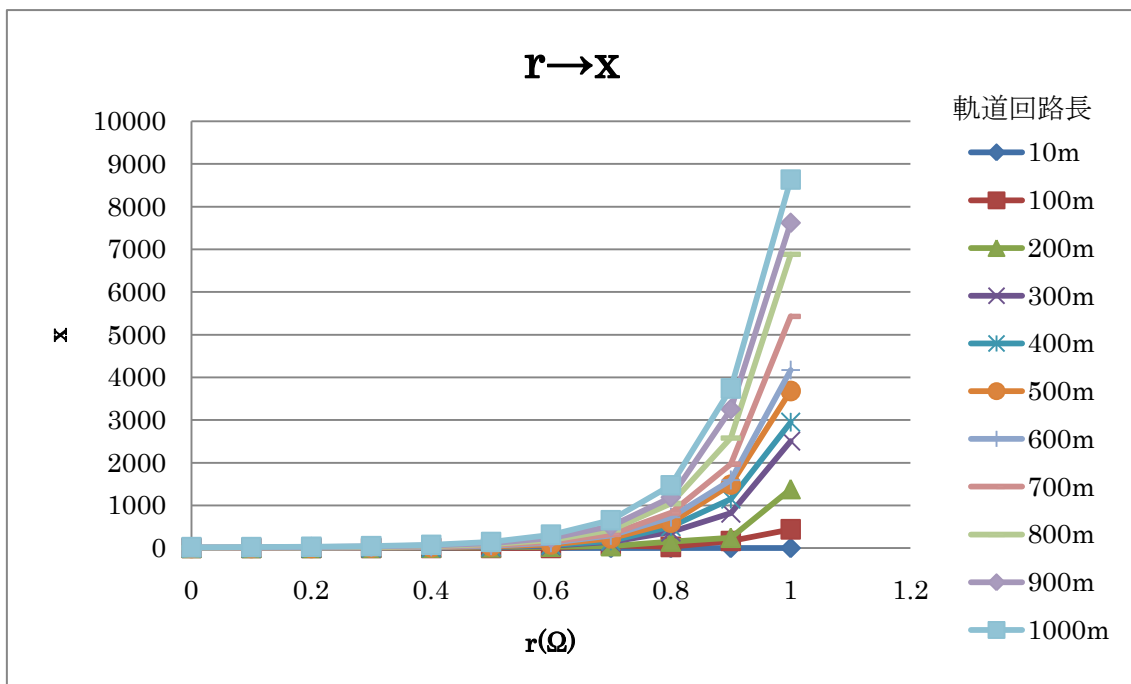


図 5.22 定数 x 算出

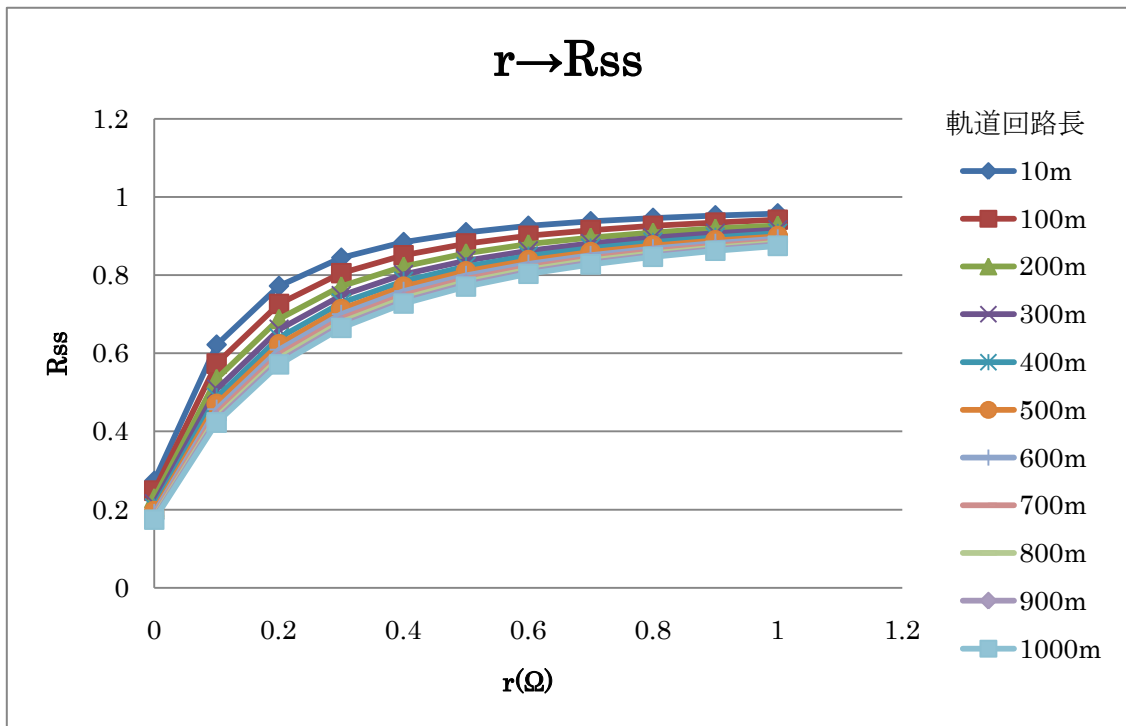


図 5.23 始点短絡送電圧割合算出

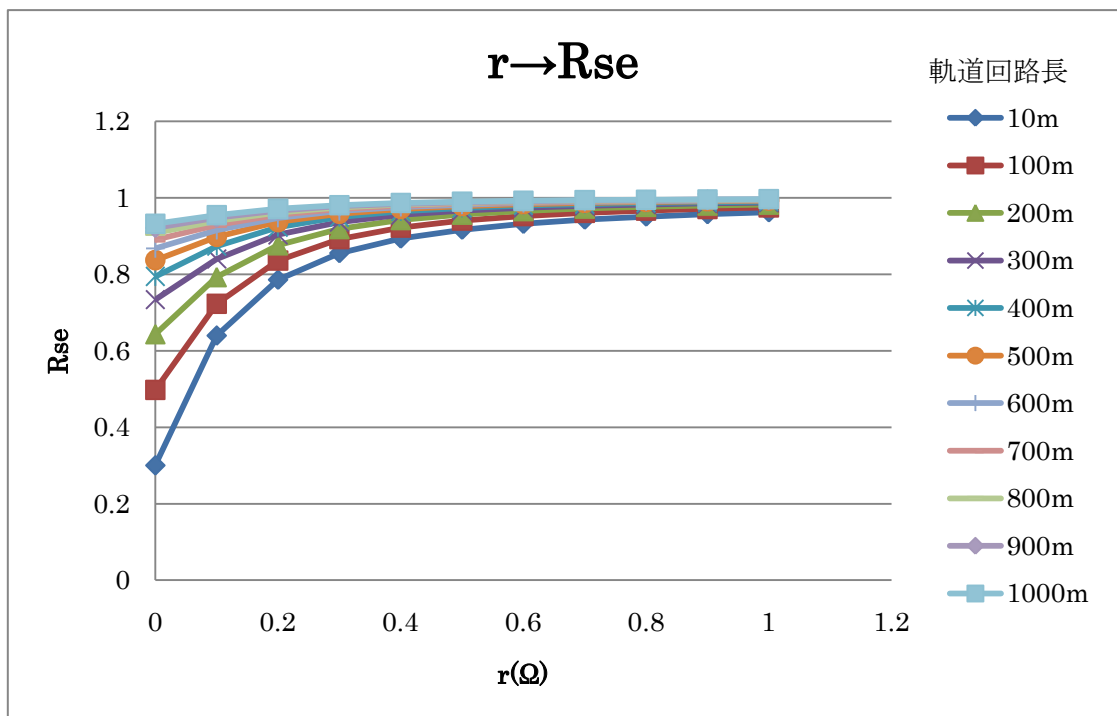


図 5.24 終点短絡送電圧割合算出

5.4 考察

軌道回路長についてのみ必要な数値をテーブルとして用意しておけば、一般的な商用周波数軌道回路について、機器室内の電圧を測るだけで短絡位置をある程度算出できるような思われる。ケーブル抵抗や漏れ抵抗が変わっても、電圧の割合を見てやれば変化がなく、様々な回路に適用できるので有用である。

第6章 システムの精度

6.1 緒言

これまで述べてきた手法で短絡位置特定がある程度可能になるのではないかとと思われる。そこでこのシステムがどの程度の精度で短絡位置を求められるのかを述べる。

6.2 システムの精度

シミュレータで短絡させた位置と、電圧値から算出される位置にどの程度ずれがあるのかを述べる。

100m 軌道回路、短絡位置 0,50,100m、短絡抵抗 0.01,0.1,0.5,1 Ω で短絡させたときのずれを軌道回路長で割ってやった値を図 6.1 に表わす。

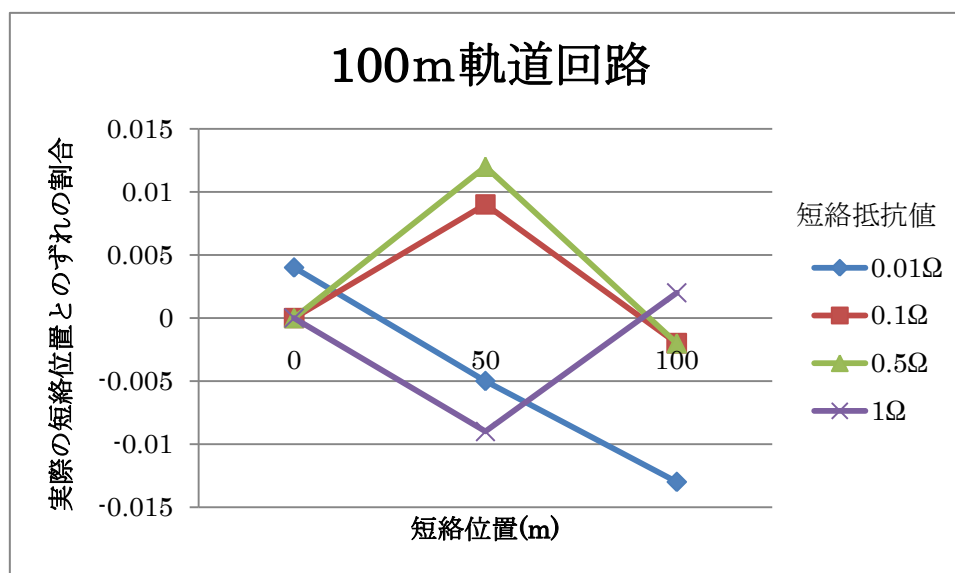


図 6.1 100m 軌道回路のシステムのずれ

200m 軌道回路、短絡位置 0,50,100,150,200m、短絡抵抗 0.01,0.1,0.5,1 Ω で短絡させたときのずれを軌道回路長で割ってやった値を図 6.2 に表わす。

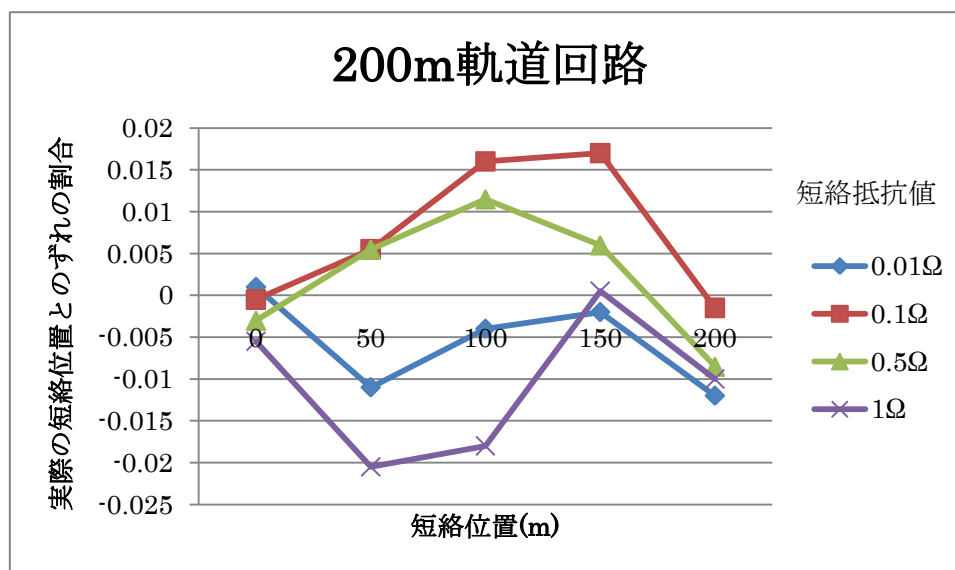


図 6.2 200m 軌道回路のシステムのずれ

300m 軌道回路、短絡位置 0,100,200,300m、短絡抵抗 0.01,0.1,0.5,1 Ω で短絡させたときの

ずれを軌道回路長で割ってやった値を図 6.3 に表わす。

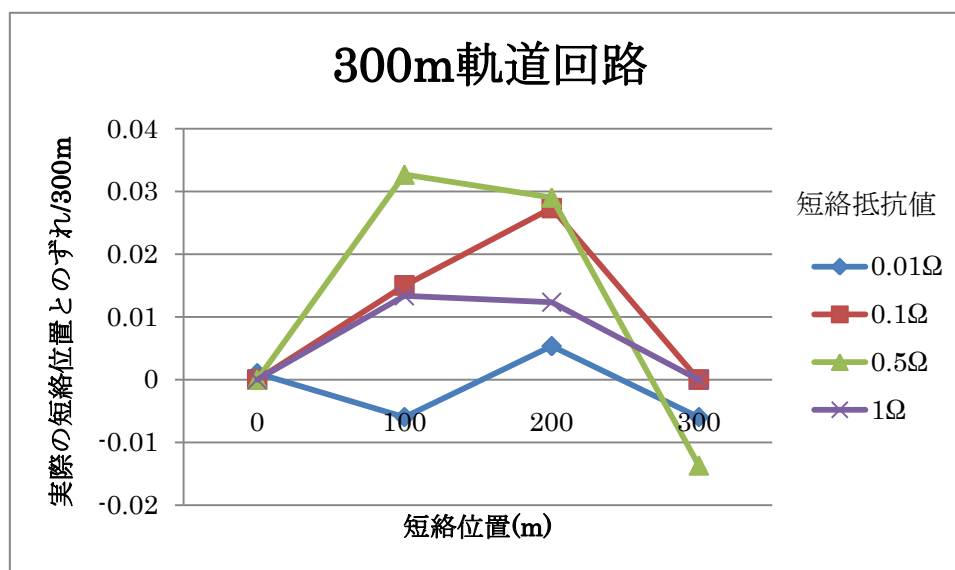


図 6.3 300m 軌道回路のシステムのずれ

600m 軌道回路、短絡位置 0,200,400,600m、短絡抵抗 0.01,0.1,0.5,1Ω で短絡させたときのずれを軌道回路長で割ってやった値を図 6.4 に表わす。

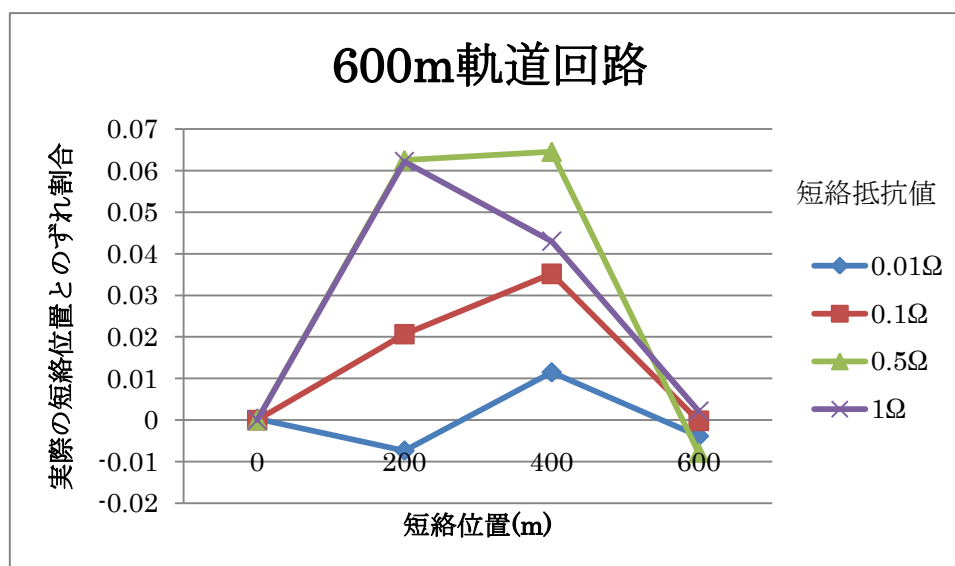


図 6.4 600m 軌道回路のシステムのずれ

短絡抵抗が小さいときにはずれは小さいが、短絡抵抗が大きいときにずれる。また短絡位置が送電側から離れるにつれてずれが大きくなる。これらは受電圧を一定としている仮定による影響などがあると考えられる。

しかし軌道回路長の 10%程度のずれで大部分実際の短絡位置よりも小さな値が算出されるのである程度の位置特定ができる。その部分に故障の起こりやすい機器があればそこが短絡している可能性が高いと思われる。

6.3 実験値との比較

シミュレーションをもとに短絡位置特定手法を開発してきたが、実際の回路に電圧をかけた時に、どの程度のずれが生じるのかを調べる必要がある。ここで模擬軌道回路を利用し、実験値をとってシステムのずれを調べる。

6.2 のシミュレーションと同じ条件の模擬軌道回路に電圧をかけ、値を測定した。しかし軌道回路の短絡感度により短絡抵抗 0.2Ω 以上は短絡が起こらず、短絡抵抗値の最小値が 0.02Ω であったため短絡抵抗は $0.02, 0.1\Omega$ について実験した。

図 6.5 は実験で短絡させた位置と電圧を測定し算出した短絡位置とのずれの軌道回路長に対する割合である。

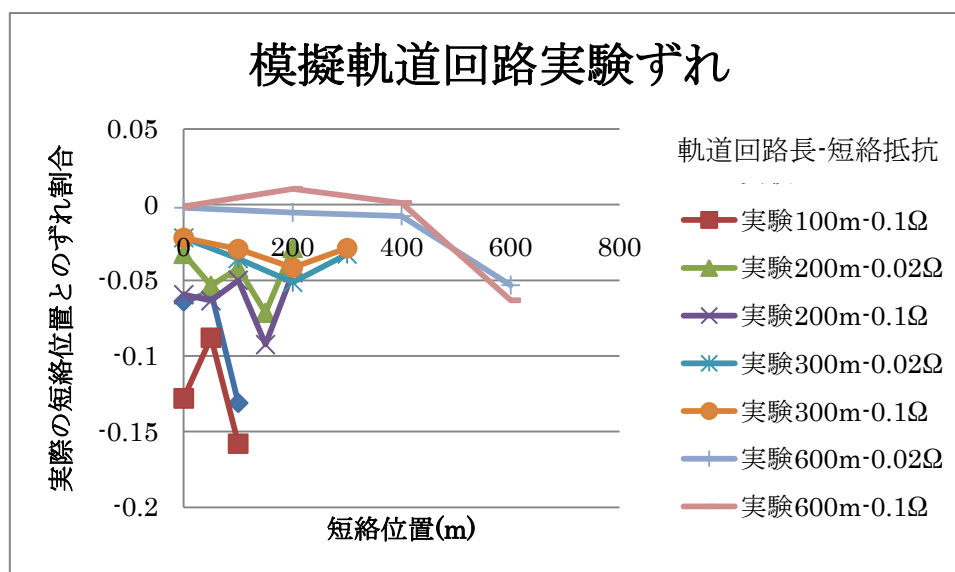


図 6.5 模擬軌道回路実験のずれ

どの値も実際の短絡位置より小さくでた。軌道回路が短くなるほどずれの割合は大きくなる。短絡位置が大きくなるほどずれは大きくなる。

次に短絡抵抗 0.1Ω の場合の実験値とシミュレーション値のずれを示す。

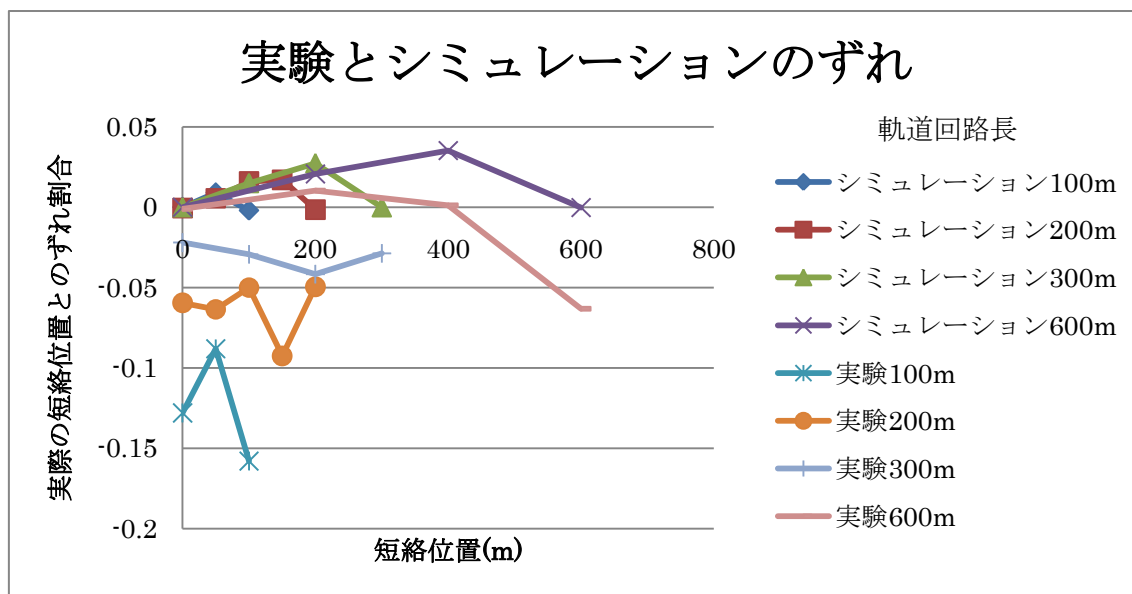


図 6.6 実験とシミュレーションのずれ

シミュレーションよりも実験値のほうが、ずれは大きくなる。傾向としては似た形になる。

また実験値では電圧値を $1/1000(V)$ の値まで読み取り、算出した。
 模擬軌道回路で得られた値を $1/100(V)$ 、 $1/10(V)$ の値まで読み取った時の精度は下図。
 軌道回路長 600m、短絡抵抗 0.02Ω の場合

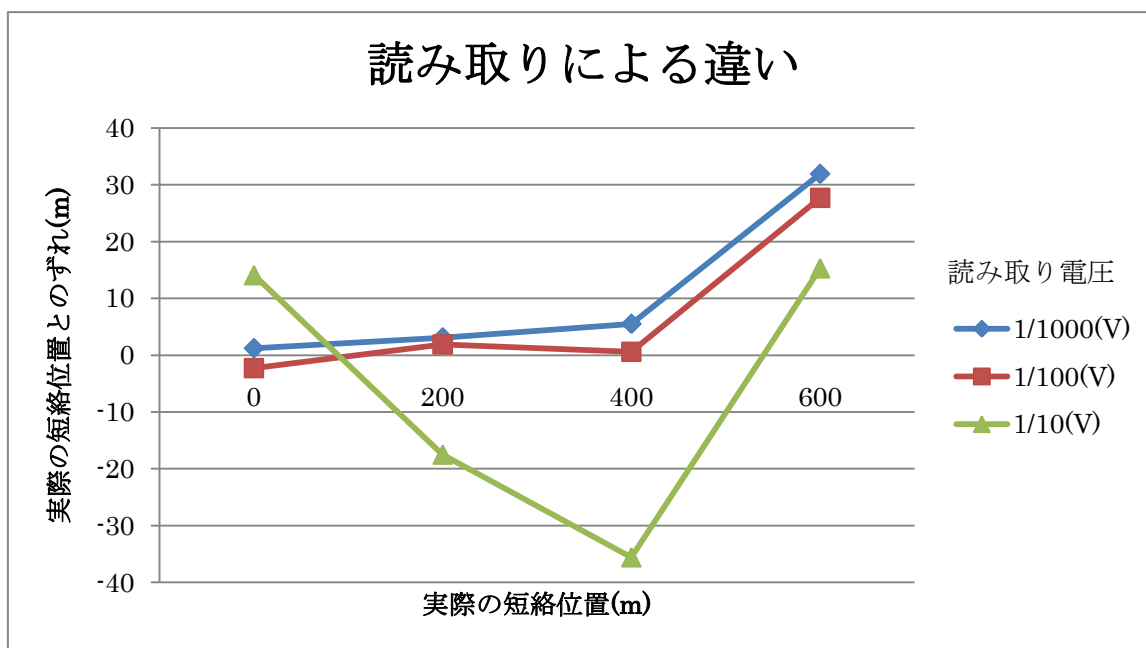


図 6.7 電圧読み取りによる違い

6.4 考察

システムの精度としてレールをある程度分割することができるようである。しかし正確な値を出すことはできず、ある程度のずれが生じてしまうようである。このずれは受電圧が短絡位置によらず一定としている仮定などが効いているのではないかと思われる。

また電圧値を $1/10(v)$ までしか読み取らないと、値が大きいくずれる可能性があり、 $1/100(v)$ まで読み取ることが不可欠である。

第7章 結論

7.1 本研究における結論

鉄道軌道回路における短絡位置特定手法について検討した。

送電側と受電側の電圧値を測定することで、機器室内にいてある程度の短絡位置が算出できることが分かった。実際の軌道回路で、ある程度の特定制をしてやることができれば、]その周辺の短絡が起りやすい箇所の点検をしてやることにより、復旧作業時間の短縮につながると思われる。

7.2 今後の課題

本研究ではある程度の短絡位置算出が可能であるという手法を確立した。しかし、より精度を上げていく必要がある。

また、実際の電車の走っているレールで電車電流等のノイズの影響を受けないかどうかを調べる必要がある。

参考文献

- [1] 崎地 康文 “鉄道軌道回路の故障情報モニタリングに関する研究” 東京大学学士論文
- [2] 電気学会 鉄道における教育調査専門委員会編、“最新 電気鉄道工学” p215、コロナ社
- [3] 菱沼好章 監修、“軌道回路[改訂版]” p21 日本鉄道電気技術協会
- [4] 電気学会 鉄道における教育調査専門委員会編、“最新 電気鉄道工学” p220、コロナ社
- [5] 高重哲夫、“軌道回路と列車検知” p3、鉄道と電気技術 1993.10 VOL.4 NO.10
- [6] 板倉栄治 編著、“パソコンによる軌道回路のシミュレーション” p33,34、日本鉄道電気技術協会

謝辞

本論文作成にあたり、一年間ご指導してくださった酒井教授・泉准教授に深く感謝いたします。

打ち合わせの際に、的確な指摘やアドバイスを下さった群馬大学岩崎准教授に深く感謝いたします。

またこちらが必要な情報を迅速に提供していただき、実際の技術者の目線からアドバイスを下さった東日本旅客鉄道株式会社 JR 東日本研究開発センターの市倉様・高坂様、研究に協力していただいた東日本旅客鉄道株式会社様に深く感謝いたします。

テーマの違う研究をする中、常に相談に乗っていただき方針を示し、アドバイスをくださり、研究だけでなく学生としてのよい手本となって導いてくださった長谷川さんに深く感謝いたします。

研究室全体が明るく和やかな雰囲気であり、研究室に楽しく通うことができました。研究室の先輩や同期、設備にも感謝いたします。

また私のことをいつも気にかけて、支えていただいた家族にも感謝いたします。

以上、研究に関わった全ての人に感謝の意を表します。

以上

p.1～p.55 完

卒業論文

平成 22 年 2 月 5 日提出

80176 神谷 翔太