

フリッカ対策のご提案

淀川変圧器株式会社

本社 〒530-0001 大阪府大阪市北区梅田 2-4-9 ブリーゼタワー11F

TEL:06-4796-1900 FAX:06-4796-1919

東京支店 〒104-0031 東京都中央区京橋 1-1-1 八重洲ダイビル 7F

TEL:03-3231-4577 FAX:03-3231-4578

東北営業所 〒980-0811 宮城県仙台市青葉区一番町 2-1-2 NMF 仙台青葉通りビル 6F

TEL:022-797-1136 FAX:022-797-1137

中部営業所 〒450-0003 愛知県名古屋市中村区名駅南 1-16-30 東海ビルディング 8F

TEL:052-582-9060 FAX:052-582-9061

九州営業所 〒812-0011 福岡市博多区博多駅前 1-5-1 博多大博通ビルディング 8F

TEL:092-433-2241 FAX:092-433-2243

Email : eigyou@yodohen.co.jp

URL : <http://www.yodohen.co.jp/>

●フリッカとは？.....	2
1. フリッカとは何ですか？.....	2
2. フリッカはなぜ発生するのですか？.....	2
3. フリッカが発生した場合は対策する必要があるのですか？.....	3
4. フリッカ対策が必要かどうかはどのようにしたら判るのでしょうか？.....	3
5. フリッカ対策はどのような手順で行うのでしょうか？.....	4
●フリッカの影響と発生源.....	5
1. フリッカの影響.....	5
2. フリッカの発生源.....	5
トンネル工事.....	6
ダム建設工事.....	8
●フリッカ検討にあたっての確認事項.....	10
1. フリッカ検討に必要な資料について.....	10
2. 記入用紙について.....	11
●電圧変動率、フリッカ値の検討方法.....	13
1. 電圧変動率 $\Delta V[\%]$ とは.....	13
2. フリッカ値 ΔV_{10} とは.....	14
●フリッカの対策方法.....	16
1. 主な対策方式.....	16
●アクティブフィルタの特徴.....	17
1. アクティブフィルタとは.....	17
2. アクティブフィルタによるコストダウン.....	18
3. 低圧及び高圧への連系.....	19
4. 固定コンデンサによるフリッカ対策効果について.....	22
5. 力率改善とフリッカ対策の違いについて.....	22
6. SVRによるフリッカ対策効果について.....	23
●フリッカ対策の効果検証.....	25
1. フリッカ測定に使う計測器.....	25
2. フリッカ対策の効果検証方法.....	26
●実際の対策例.....	27
1. TBM.....	27
2. ケーブルクレーン.....	31
3. ドリルジャンボ.....	35
4. コンクリート吹付機.....	37
5. ロードヘッダ.....	39
●フリッカ対策のご提案 まとめ.....	42

●フリッカとは？

1. フリッカとは何ですか？

フリッカとは、電源電圧の変動により照明のちらつきや機器の誤作動が発生するという現象の事です。

2. フリッカはなぜ発生するのですか？

電力は電力会社の変電所から配電線を通じて地域の需要家に供給されています。一般に配電線を電流が流れると配電線のインピーダンスによって電圧降下が発生するので、電力会社はその地域の電力使用量に応じて、電圧降下を生じない太さの電線を配電線に使用しています。しかし、一時的工事などによって、同じ配電線から受電して大容量の負荷機器を動かすことで、配電線に流れる電流が増大し、大きな電圧降下が発生します。負荷が頻繁に稼働停止を繰り返すようであれば、それに合わせて電圧変動が近隣の需要家にまで波及し、フリッカ現象を引き起こすということになります。

実際、問題となる電力系統は、変電所から遠く、配電線が細い山間部に多く、都市部ではあまり問題とされません。

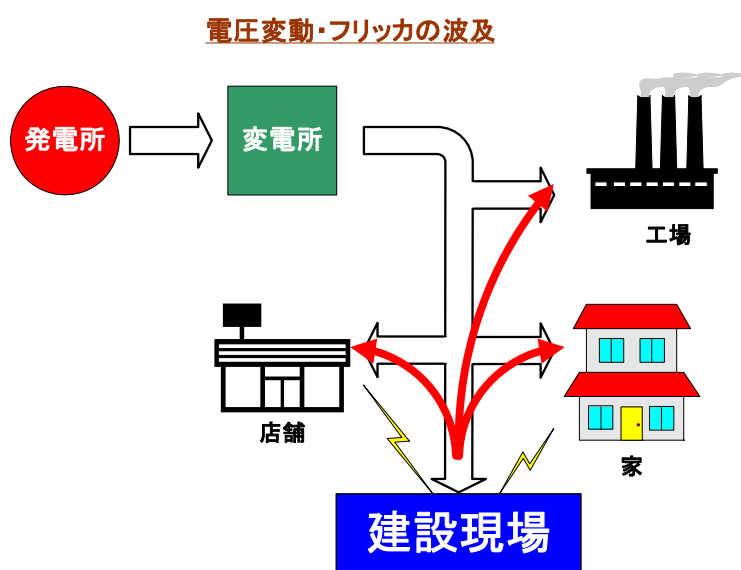


図 1 フリッカのイメージ図

3. フリッカが発生した場合は対策する必要があるのですか？

フリッカなどの対策が必要だと判断された場合は、電力会社より対策のお願いをされることがあります(電気供給約款にもとづく要請)。

お客様の電気の使用が、次の原因で他のお客様の電気の使用を妨害し、もしくは妨害するおそれがある場合、または当社もしくは他の電気事業者の電気工作物に支障を及ぼし、もしくは支障を及ぼすおそれがある場合（この場合の判定は、その原因となる現象が最も著しいと認められる地点で行ないます。）には、お客様の負担で、必要な調整装置または保護装置を需要場所に施設していただくものとし、とくに必要がある場合には、供給設備を変更し、または専用供給設備を施設して、これにより電気を使用していただきます。

- イ 負荷の特性によって各相間の負荷が著しく平衡を欠く場合
- ロ 負荷の特性によって電圧または周波数が著しく変動する場合
- ハ 負荷の特性によって波形に著しいひずみを生ずる場合
- ニ 著しい高周波または高調波を発生する場合
- ホ その他イ、ロ、ハまたはニに準ずる場合

参考 関西電力電気供給約款「35 電気の使用にともなうお客様の協力」より抜粋

4. フリッカ対策が必要かどうかはどのようにしたら判るのでしょうか？

弊社のような電気設備専門会社にご相談下さい。お客様の需要場所における電源環境及び負荷機器の使用状況について調査し、フリッカ・電圧変動の計算書作成ならびに対策のご提案をいたします。詳しくは10ページの「フリッカ検討にあたっての確認事項」をご覧ください。

5. フリッカ対策はどのような手順で行うのでしょうか？

フリッカ現象については、電力会社の電気供給約款にて、問題の発生源である需要家側で対策することとなっていますので、受電開始前の検討が必要です。

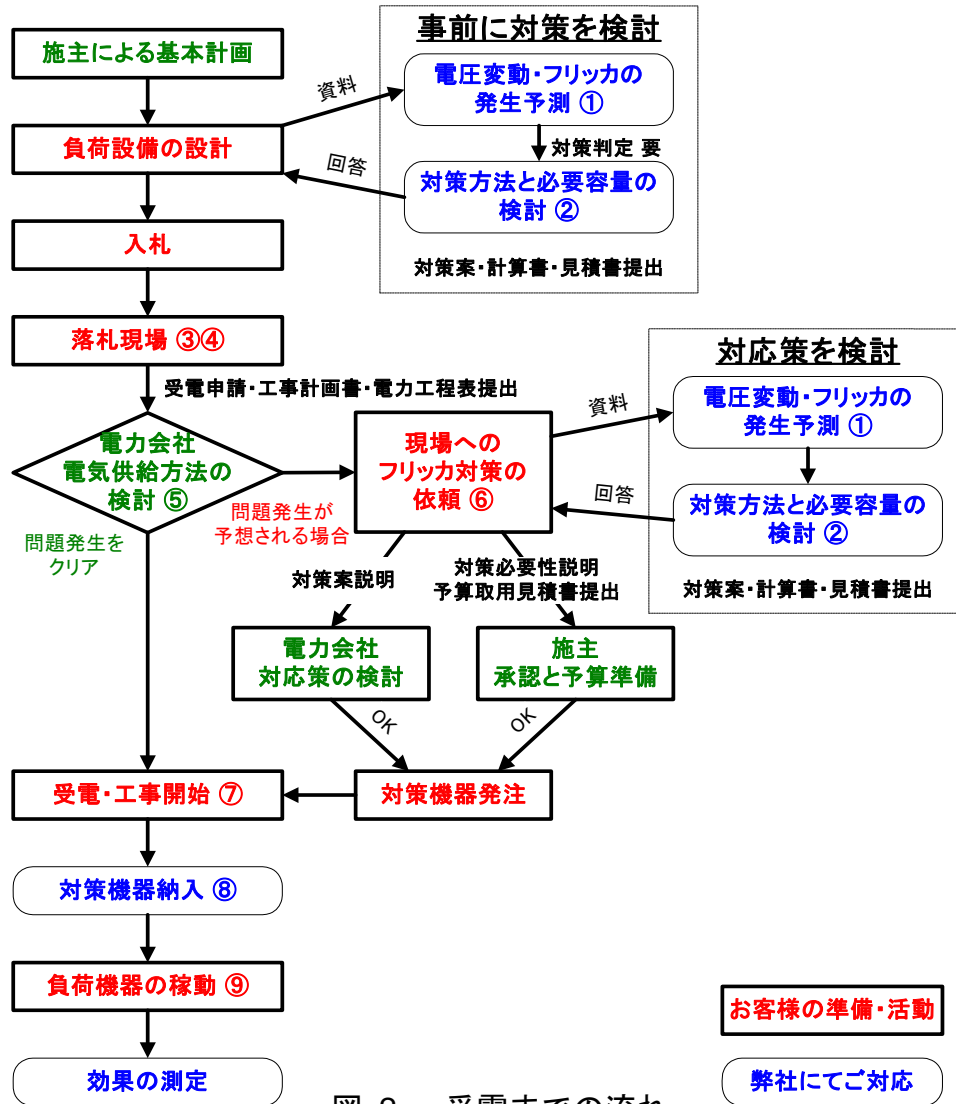


図 2 受電までの流れ

主な手順は以下のようになります。

- ① フリッカ・電圧変動の計算書をもとに発生量を予測し、対策の要否を判断します
- ② 対策方法と対策に必要な容量を検討します
- ③ 電力使用状況を盛り込んだ工事計画書を策定します
- ④ 電力会社に受電を申請します
- ⑤ 電力会社による電気供給方法の検討がなされフリッカなどの問題がないか検討します
- ⑥ 問題の発生が予想される場合は、問題の解決をお願いされます
- ⑦ 問題に対し必要な対策が施されていれば受電することができます
- ⑧ 対策機器を導入し施設します
- ⑨ 負荷機器の稼動を開始します

●フリッカの影響と発生源

1. フリッカの影響

電力会社の変電所より比較的遠距離にある家庭の照明がちらつくことがあります。これは家庭への給電電圧が瞬間的に変化しているためです。このような現象をフリッカと呼び、電圧変動の中に含まれます。実際にフリッカ・電圧変動の障害を受ける機器とその影響の種類を表1に示します。

障害機器	影響の種類
誘導電動機	起動不能、トルク低下
蛍光灯、白熱灯、水銀灯	ちらつき、消灯
コンピュータ	誤動作、暴走、故障
家電機器	映像のちらつき、誤動作
電子機器	自動制御機械の誤動作

表 1 フリッカ・電圧変動障害機器と影響の種類

2. フリッカの発生源

短時間に大きな負荷変動があるもの、また容量が大きくて起動、停止を繰り返すものがフリッカ・電圧変動の発生源となります。この種の負荷設備の代表例をトンネル工事・ダム建設工事に分けて下記に挙げます。

トンネル工事

ロードヘッダ、ブームヘッダ

本機は先頭に取り付けたブーム式掘削カッターにより岩盤を直接掘削します。カッターモータの出力は100～300kW、Y-Δ起動のものが多く、その出力の大きさから始動時には大電流が流れ、電圧降下の原因となります。

また、掘削中は、岩盤及びブームの押し付け具合により、大幅な負荷変動が連続して起こり、フリッカの原因となります。



ロードヘッダ

ドリルジャンボ

ドリルジャンボは2ブーム、3ブームのものが多く、ブーム先端の削岩機により、発破用穿孔及びロックボルト孔の施工を行います。削孔モータはブーム数により、順次起動を行います。モータ出力は37～55kW、Y-Δ起動又は、直入れ起動で、始動時の大電流は電圧降下の原因となります。



ドリルジャンボ

コンクリート吹付機

発破作業の後すぐにアーチ状の壁面を保護するためコンクリートモルタルを吹き付ける機械です。コンクリートを送り出すコンプレッサと吹付そのものを担う吹付ロボットで構成され、モータ出力は22～95kW、Y-Δ起動又は直入れ起動で順次起動を行い、始動時の大電流が大きな電圧降下の原因になることがあります。



コンクリート吹付機

コントラファン

コントラファンは、坑内の換気をするための設備で、送り込み、吸出しの2台一組で使用されます。モータ出力は55～110kWのものが多く、起動方法は、順次起動にてY-Δ起動、インバータ起動のものがあります。Y-Δ起動のものは、起動時に電圧降下の原因となり、インバータ起動のものは、高調波について検討する必要があります。



コントラファン

TBM(トンネル・ボーリング・マシン)

岩石層にトンネルを全断面で掘進する機械がTBMです。掘削口径は2～5mφのものが一般的で、大口径の場合は、TBMでパイロット坑を掘り、切り拓げる方法がとられています。数台のカッターモータをY-Δ又はインバータにて順次起動させます。カッターモータの容量が大きいため、起動時の電圧降下、運転時のフリッカが問題となることがあります。また、インバータを使用するものには高調波の検討をする必要があります。



TBM

シールドマシン

崩壊しやすい地盤にトンネルを掘る際、トンネル壁面の崩壊を防ぐ目的でトンネル外周を鉄鋼又はコンクリート製の保護材で覆います。この保護材をシールドといい、それを使う方法をシールド工法といいます。シールドマシンは、主に土砂層を掘り進むため、運転時の大幅な負荷変動はあまり起こらないようです。ただし、カッターモータの合計容量が大きいため、起動時には電圧降下の原因となることがあります。



シールドマシン

ダム建設工事

ケーブルクレーン

谷間などで兩岸にアンカをとって、その間にケーブルを張り、そのケーブル上にトロリーを走らせ、トロリーから下げたフックで資材などを吊って運搬します。主にダム工事で生コンクリートや資材の運搬に利用されます。ケーブルクレーンは直流電動機を用いるため、緩やかな起動なのですが、容量が大きいため、起動時の電圧降下が問題となることがあります。また、高調波の検討も必要です。ケーブルクレーンは操作が難しく、特に横行・巻上げ速度の調整が作業効率を左右させます。そのため、速度制御方式にサイリスタレオナード方式を用いることが多いようです。



ケーブルクレーン

クラッシャ

クラッシャは、原石を破碎して適当な粒度にするもので、一次破碎機、二次破碎機、三次破碎機の三つに分けられます。そのうち、多く使われるのは、ジョークラッシャ、ロッドミルなどで、いずれも運転時に激しい負荷変動を起こし、フリッカの原因となることがあります。

ジョークラッシャ

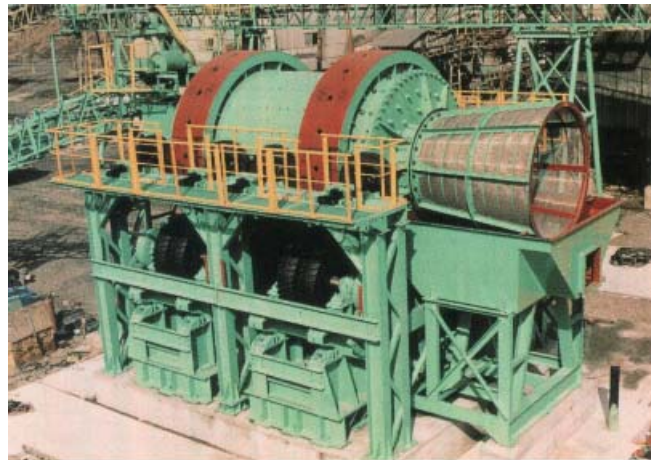
固定歯を揺動するスイングジョーに付けた動歯板の間に作られる V 型の溝の中に石を落下させて破碎します。供給口が大きいので一次破碎に多く使われます。最大の公称能力は 1000t/h くらいです。



ジョークラッシャ

ロッドミル

鋼棒を多数入れた1～3mφ、長さ3～5mの大きな円筒型ドラムを回転させながらその中に骨材を入れ、ロッドの回転によって骨材を粉砕するもので製砂機として最も一般的なものです。能力は10～300t/hのものが作られています。



ロッドミル

●フリッカ検討にあたっての確認事項

1. フリッカ検討に必要な資料について

フリッカの検討には次のような資料が必要です。

A 電力会社を通じて得られる資料

1 受電点における 10MVA 基準での%インピーダンス(%R、%X)

電力会社に問い合わせ、変電所から受電点までの%インピーダンス(10MVAベース)を教えてください。フリッカ対策のために必要である旨を伝えることにより提供してもらえます。%インピーダンスは変電所からの距離が遠いほどまた配電線が細いほど大きくなり、その値は受電点により大きく異なります。

2 受電点での、フリッカ値(ΔV_{10})・電圧変動率(ΔV)の許容値

対策では、フリッカ値・電圧変動を許容値以下に抑えることが必要ですが、この許容値は受電点における配電線の状況などにより異なりますので、電力会社に問い合わせます。

3 電力会社からの対策依頼文書

既に電力会社にてフリッカの検討がなされ、対策が必要と判断された場合は、対策のお願いの文書とフリッカの予測または実測資料が提出されます。

B お客さまより提出頂く資料

1 負荷設備に関する資料

作業所に設備するすべての負荷を対象とします(電灯負荷を含む)。
とくに主要な機器等でフリッカの主要な原因となることが予想される時は、
メーカーなどに問い合わせ、詳細な資料を取寄せて下さい。特に始動電流な
どの実測値があれば正確な予測計算ができますのでご提供下さい。

2 負荷設備の運転方法

作業所の負荷はすべてが同時に起動するわけではなく、各作業によって起動
する負荷やその順番が工程として計画されています。こうした細かな作業工
程があれば、それに応じたフリッカ対策を行うことにより、より小容量で効
果的な対策が可能となります。

3 単線結線図

対策機器の容量及び接続場所を検討するために、受電点から各負荷機器まで
の配電設備をあらわした結線図が必要です。

2. 記入用紙について

弊社では次頁のような情報記入用紙を用意しておりますので、必要な際にはお
申しつけ下さい。

フリッカ・電圧変動の検討条件

フリッカ・電圧変動の検討条件として、下記の項目が必要ですが、お手数ですが、各項目について条件の御提示をお願い致します。

受電圧・配電線

電力会社より供給される電圧を御提示下さい。
 また、当作業所への配電線が専用線でないことを御確認下さい。
 6.6kV その他 (kV)
 配電線は専用線でない

配電線のインピーダンス (10 [MVA] ベース)

受電点における電力会社側配電線のインピーダンス [%R, %X] を御提示下さい。

区間	線種	線径 [sq]	距離 [km]	インピーダンス (10 [MVA])	
				%R	%X
合計					

フリッカ・電圧変動の許容値

電力会社が定める、当作業所でのフリッカ・電圧変動の許容値を御提示下さい。
 受電点にて (その他地点にて ()

V10=	[%]
V=	[%]

コンデンサ容量

当作業所に設置する固定コンデンサの容量を御提示下さい。

固定コンデンサ =	[kvar]
-----------	----------

単線結線図

フリッカ・電圧変動を発生する機器、コンデンサの接続箇所が記載されている単線結線図を御提示下さい。

負荷特性・作業行程表

フリッカ・電圧変動を発生する機器の各仕様、および作業行程について御提示下さい。

例) 負荷特性、作業行程表

坑内	掘削機名	掘削機容量 [kW]	掘削機台数	負荷特性										作業行程							
				定格効力率 [%]	定格電流 [A]	定格力率 [%]	起動時力率 [%]	起動時電流 [A]	起動時方法	軽負荷時力率 [%]	最大負荷時力率 [%]	掘削機交換	掘削機	掘削機	R	D	J				
坑内	掘削機	440	55	93	80	591	30	直入れ	50	75	120	75	1								
	掘削機	440	55	93	80	591	30	直入れ	50	75	120	75	1								
	掘削機	440	55	93	80	591	30	直入れ	50	75	120	75	1								
	吹付け	440	75	93	80		30	Y-	50	75	80	85	1								
	吹付け	440	45	93	80		30	Y-	50	75	80	85	1								
	換気	440	110	93	80		30	Y-	50	75	100	95	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	換気	440	110	93	80		30	Y-	50	75	100	95	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	換気	220	37	93	80		30	Y-	50	75	100	95	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	換気	220	37	93	80		30	Y-	50	75	100	95	1	1	1	1	1	1	1	1	1

Q・上記 ~ を調べるには、どこにたずねればよいですか？
 A. . . , ... 受電点を管轄する電力会社営業所へおたずね下さい。
 . . . , ... の負荷特性は製造メーカーへおたずね下さい。
 の作業行程表、. . . は、当作業所の資料を御提示下さい。

Q・上記 ~ の全てが揃わないと検討できないのですか？

A. . . , . . . を御提示頂ければおおよその検討はできます。

. . . は、対策装置の容量を決定する条件ですので、最終的 (対策装置の導入の際) には必要です。

●電圧変動率、フリッカ値の検討方法

1. 電圧変動率 $\Delta V[\%]$ とは

負荷に電流が流れると、配電線のインピーダンスによりその受電端電圧は低下します。

比較的大きな電動機を始動した時に電圧が低下します。その電圧の低下の度合いを電圧変動率 $\Delta V[\%]$ といひ、図 3 のように、基準電圧に対して何%低下したかで表します。

また電圧変動率 $\Delta V[\%]$ は、負荷の急激な変動によっても発生します。その場合は、負荷の変動前、変動後の電圧の差が電圧変動率 $\Delta V[\%]$ となります。

電力会社が定める $\Delta V[\%]$ の許容値は、一般的に 3%~5% とされることが多いです。

基準電圧については、通常配電系統には、重負荷時間帯（昼）と軽負荷時間帯（夜）の電圧差を抑えるために SVR（電圧調整器）が施設されており、3分程度の応答時間により電圧調整を行なっています。

そのため、定常的な負荷による電圧低下については、SVRでの電圧調整で対応でき、 $\Delta V[\%]$ の検討は 3分以内に連続して起動する負荷に対して行なうことが適当です。

電圧変動率 $\Delta V[\%]$ は、下式で求められ(図 4 参照)、求められた電圧変動率 $\Delta V[\%]$ が許容値を超える場合は何らかの対策が必要になります。

$$\Delta V = P_s (\%R \times \cos \theta + \%X \times \sin \theta) \times 10^{-4} \quad [\%]$$

P_s : 負荷の皮相電力 [kVA]

$\%R$: 配電線の抵抗分 (10MVA ベース)

$\%X$: 配電線のリアクタンス分 (10MVA ベース)

$\cos \theta$: 負荷の力率

$\sin \theta$: $\sqrt{1 - \cos^2 \theta}$

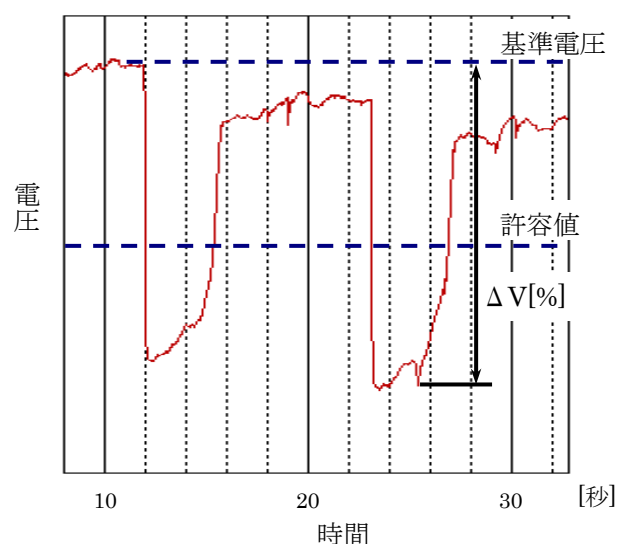


図 3 電圧変動率

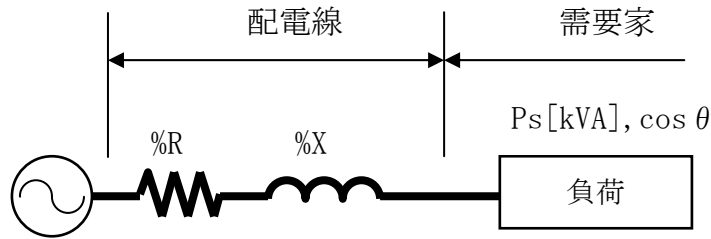


図 4

2. フリッカ値 ΔV_{10} とは

フリッカ値 ΔV_{10} は、電圧変動によるちらつきを数値化したものです。人の目は電圧変動の度合い、変動の周期によりちらつきの感じ方が異なります。 ΔV_{10} は電圧変動によるちらつきを、10Hz の周期のちらつきに換算すると、いくらの電圧変動に相当するかを表すものです。

電力会社が定める ΔV_{10} の許容値は、一般的に 0.23~0.45 が多いです。

フリッカ値 ΔV_{10} は、下式で求め、求められた ΔV_{10} が許容値を超える場合は、何らかの対策が必要になります。

< 負荷単体の場合 >

$$\Delta V_{10} = \Delta V \times k_{\alpha}$$

ΔV : 電圧変動率 [%]

k_{α} : 視感度係数

< 複数負荷の場合 >

$$\sum \Delta V_{10} = \sqrt{\Delta V_{10-1}^2 + \dots + \Delta V_{10-n}^2}$$

視感度係数とは、電圧変動によるちらつきを、10Hz の周期のちらつきに換算するための係数です。

その視感度係数は 2 種類あり、一般的には図 5 の値を使いますが、東北・北陸電力の場合は図 6 の値を使います。

変動周波数 [Hz]	視感度係数
0.6回/分	0.026
3回/分	0.055
6回/分	0.075
30回/分	0.169
1回/秒	0.260
3回/秒	0.563
5回/秒	0.780
10回/秒	1.000
15回/秒	0.845
20回/秒	0.655

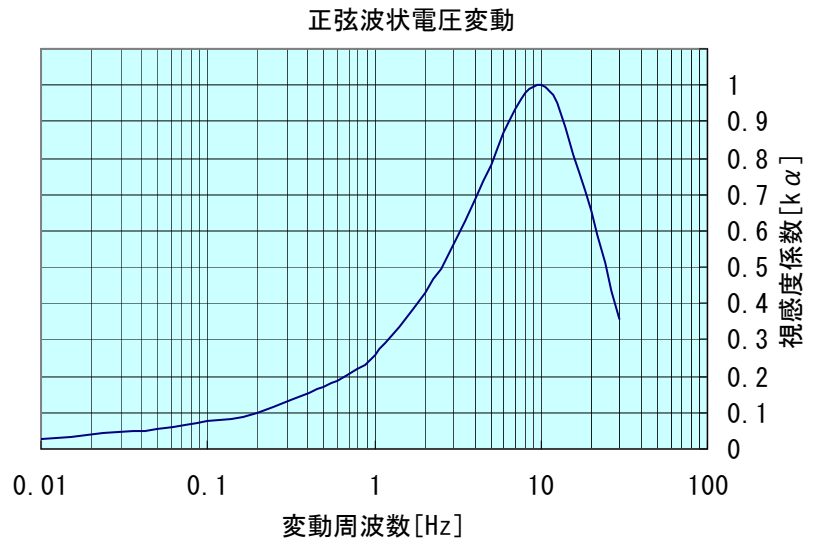


図 5 視感度係数と視感度曲線
(電気学会技術報告 II 部 第 72 号より)

変動周波数 [Hz]	視感度係数	
	α_A	α_B
20回/秒	0.73	-
15回/秒	0.89	-
10回/秒	1.00	-
5回/秒	1.00	0.89
3回/秒	0.80	0.50
2回/秒	0.67	0.38
1回/秒	0.53	0.27
40回/分	0.46	0.23
30回/分	0.41	0.20
20回/分	0.36	0.18
10回/分	0.30	0.15
5回/分	0.25	0.13
3回/分	0.23	0.11
2回/分	0.21	0.11
1回/分	0.19	0.10

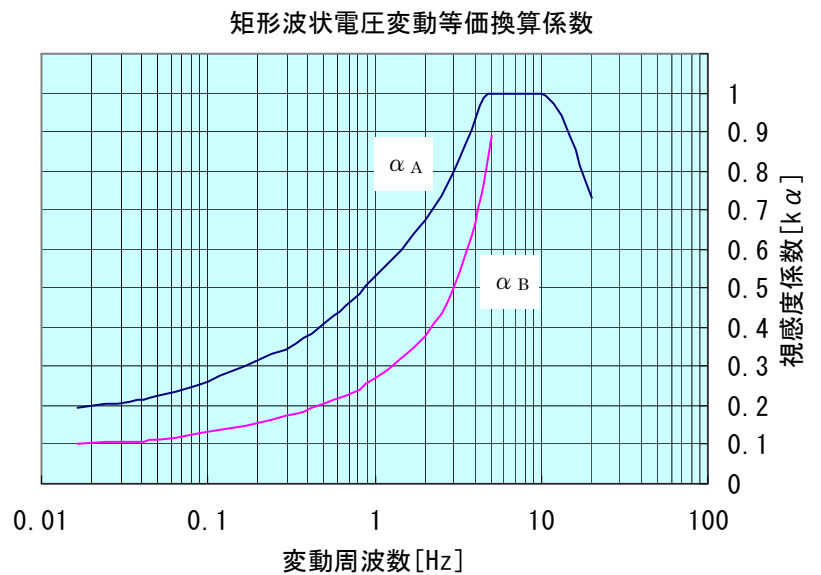


図 6 視感度係数と視感度曲線
(東北・北陸電力の場合)

●フリッカの対策方法

1. 主な対策方式

主な対策方式としては、リアクトル制御方式、コンデンサ制御方式、アクティブフィルタ方式があります。下の表 2 にそれぞれの特徴をまとめています。

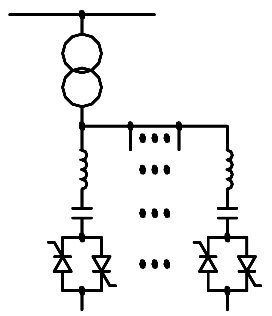
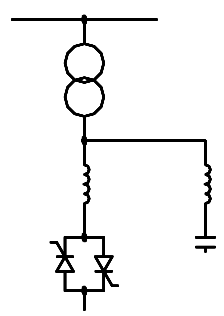
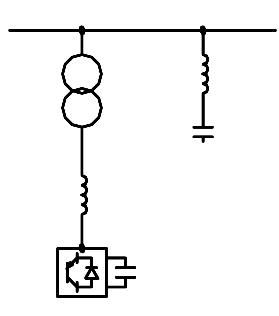
	コンデンサ開閉方式 (従来方式)	リアクトル制御方式 (従来方式)	アクティブフィルタ方式 (新方式)
動作原理			
	進相コンデンサを数バンクに分けてサイリスタで入切制御し、進相の無効電力を段階的に流す。	分路リアクトルの位相制御を行い容量を連続可変し、進相コンデンサと共に総合的に無効電力を調整する。	電圧型インバータと系統連系用リアクトルから成り、遅相から進相の無効電力を調整する。
連続制御	×	○	○
応答速度	△ (0.1s)	○ (0.01s)	◎ (0.002s)
不平衡補償	×	○	○
高調波発生	なし	あり	なし
必要容量	△	△	○
増設の可否	△	×	○
設置面積	小	大	小
周波数共用	×	×	○
総合評価	△	○	◎

表 2 フリッカ対策方法比較表

この表を見てわかるようにアクティブフィルタ方式はメリットが多く、特に仮設現場でのフリッカ対策として、今後の主流になっていくと思われます。

●アクティブフィルタの特徴

1. アクティブフィルタとは

アクティブフィルタは、電圧型インバータと系統連系用リアクトルから構成されており、(図7参照) 負荷の変動に瞬時に反応して、遅相から進相の無効電力を調整し、電圧変動を抑制しようとするものです。

電圧変動に対してアクティブフィルタを使用するという考え方は、以前から存在していましたが、弊社が開発したアクティブフィルタは、従来のものに比べ下記のような特徴があります。それにより、多種多様な負荷設備のフリッカ抑制が可能になり、同時に低コスト化を達成しています。

- 1) 100kVA のアクティブフィルタを最大 15 台まで並列運転することが可能
- 2) 補償電流検出 CT 内蔵
- 3) 耐環境性の向上・コンパクト化
- 4) 補償率 85%以上

今までフリッカ対策というと高額のコストが必要でした。その原因として、フリッカ対策装置が負荷設備や状況に応じた個別対応の製品となり、どうしてもコストが高くなってしまいうことが挙げられます。そこで、弊社ではアクティブフィルタの単体最小容量を 100kVA とし、それを並列運転することにより負荷設備の容量や負荷の種類によってさまざまである必要対策容量に対応することが可能となりました。また、装置容量を同一にし、製品を一本化することで製造ロットが多くなり、製造コストを抑えることに成功しています。次に、補償電流検出 CT 内蔵についてですがアクティブフィルタ内に自らの補償電流を検出する CT を内蔵させました。これにより、負荷電流を検出する CT の場所を選ぶことがなく、受電盤の CT で検出して一括で補償を行なうことが可能となります。

最後に耐環境性の向上とコンパクト化についてですが、アクティブフィルタの形状を独自の横長形状とし省体積化しました。さらに、設置場所の環境にも配慮し、空冷吸気口にはフィルタを設け、さらにホコリなどに弱いとされ

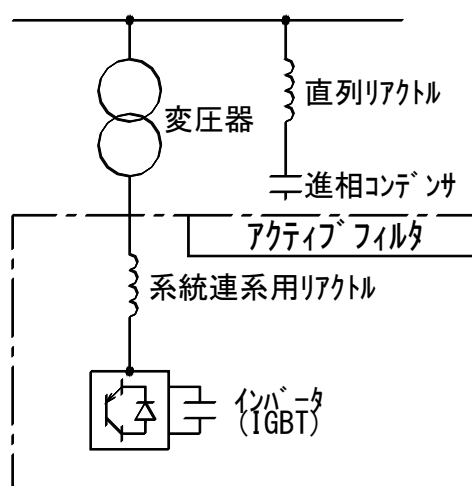


図7 アクティブフィルタの構成

ている電子制御部は保護カバーで覆い耐塵性を確保しました。これらの改善により、フリッカ対策が必要とされるあらゆる現場で、アクティブフィルタを使うことができるようになりました。

2. アクティブフィルタによるコストダウン

フリッカ対策の場合、受電点での電圧変動を抑制するという観点から、高圧連系による使用が標準的です。また、アクティブフィルタを使用すると他の対策装置に比べ、必要とされる補償容量に対してアクティブフィルタの容量が少なくすむ場合があります。これは、補償容量のうちの半分程度を固定コンデンサにて代替することにより実現します。それは、アクティブフィルタが進相のみならず遅相の無効電力も出力できるため、コンデンサによる進相無効電力

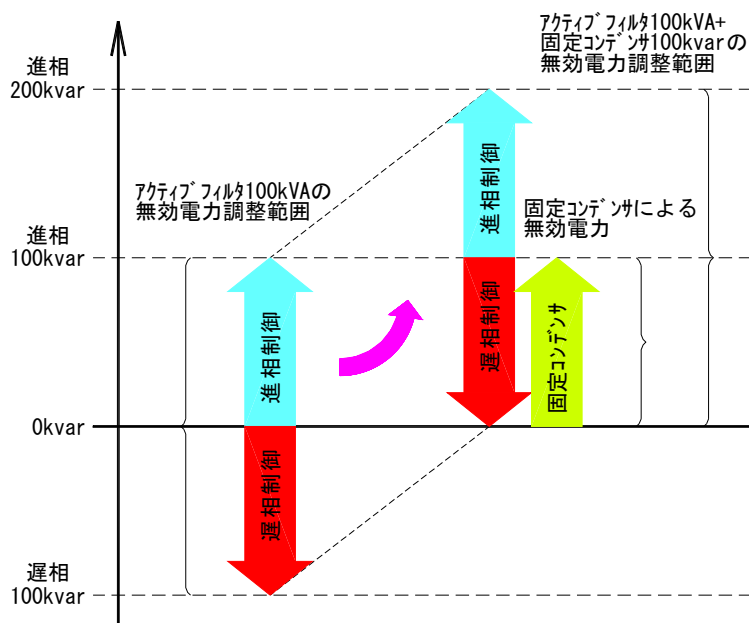


図 8 アクティブフィルタによる
フリッカ抑制装置制御説明図

と重ね合わせることで、理論上は設備容量の倍の補償容量を持つとみなせるためです(図 8)。例えば、対策に必要な補償容量が 500kVA である場合、アクティブフィルタ 300kVA + 進相コンデンサ 200kvar 等といった構成が可能となります。アクティブフィルタを含む一般的なフリッカ対策装置に比べると、高圧進相コンデンサは単位容量当りのコストが格段に低廉であるため、対策装置全体のコストダウンをはかることが可能です。

3. 低圧及び高圧への連系

アクティブフィルタの系統への連系方法としては下記の2つがあります。(図10参照)

低圧連系：アクティブフィルタの定格電圧が420Vなので、400V系統へ直接接続する方法。ただし、フリッカ発生源と同一系統でなければ、抑制効果は得られません。

高圧連系：系統との間に専用変圧器を接続することにより、6600V等の高圧系統へ連系する方法。高圧連系用の専用変圧器には、位相角がずれないように結線のものを使用する必要があります。高圧連系によるメリットは、多バンクからなる受変電設備においてアクティブフィルタの補償容量を有効活用できる点にあります。

弊社では、アクティブフィルタと高圧連系専用変圧器及び固定コンデンサを屋外用キュービクルケースに一括収納した製品も開発しています(図11)。装置間の接続及び調整の手間が省けますので、すみやかに稼動を開始することが可能となります。

項目	仕様	
定格補償容量	100kVA	
電源	相数	三相三線式
	周波数	50/60Hz
	定格電圧	420V±15%
	制御回路	110V
形式	設置場所	坑内(防滴型)
		屋外仕様有

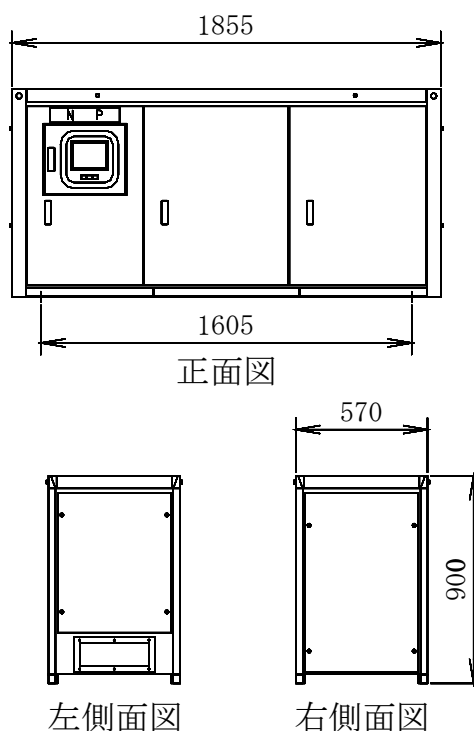
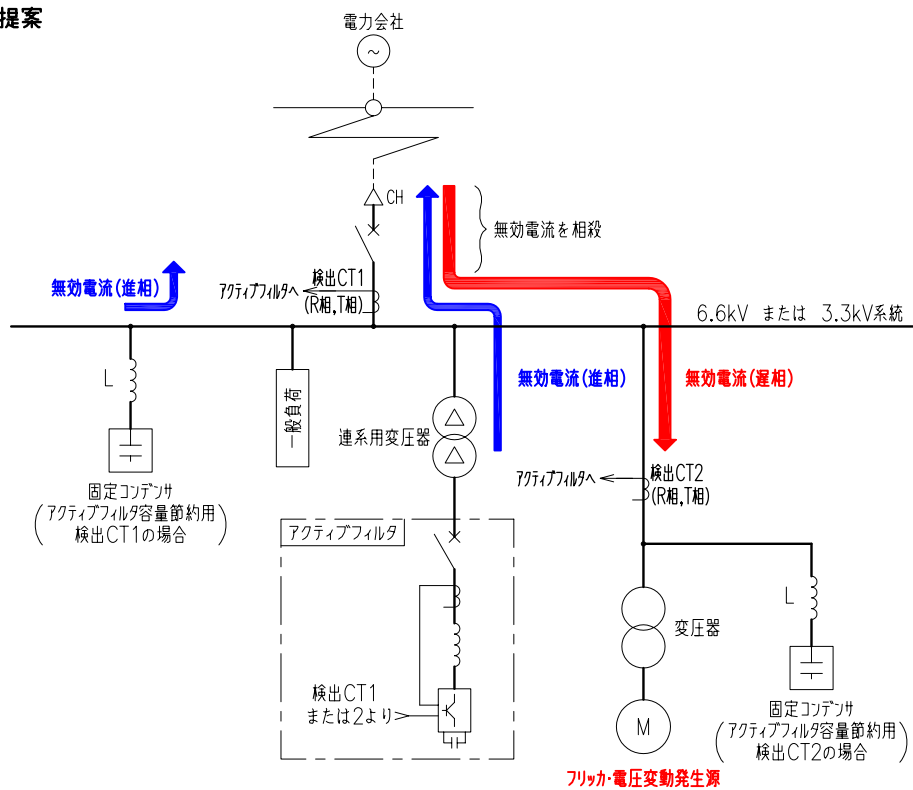


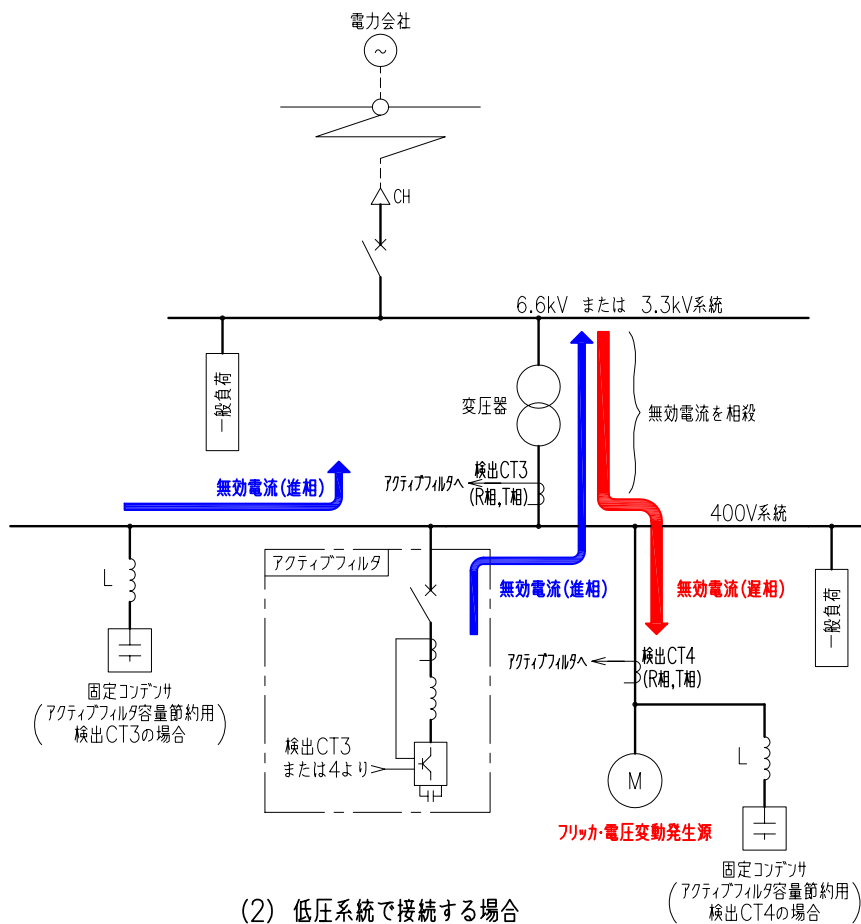
図9 アクティブフィルタの仕様及び外形寸法

フリッカ対策のご提案



(1) 高圧系統で接続する場合

(注) 検出CTの下位には、L無コンデンサを接続しないで下さい。



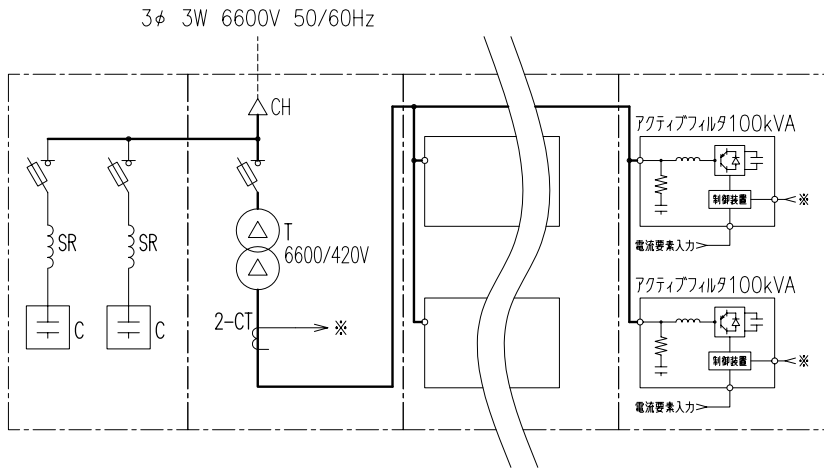
(2) 低圧系統で接続する場合

(注) 検出CTの下位には、L無コンデンサを接続しないで下さい。

図 10 系統への連系方法

フリッカ対策のご提案

屋外用ケース入 6600V



フリッカ抑制装置		W	重量
[kVA]	型式	[mm]	[kg]
300	AFH-321C	3400	4200
400	AFH-431C	4600	5900
500	AFH-532C	4600	6000
600	AFH-642C	4600	6500
700	AFH-743C	4600	6500
800	AFH-853C	7000	9500
900	AFH-954C	7000	9500
1000	AFH-1064C	7000	10000
1100	AFH-1165C	7000	10100
1200	AFH-1275C	8200	11500
1300	AFH-1385C	8200	12000
1400	AFH-1486C	8200	12100

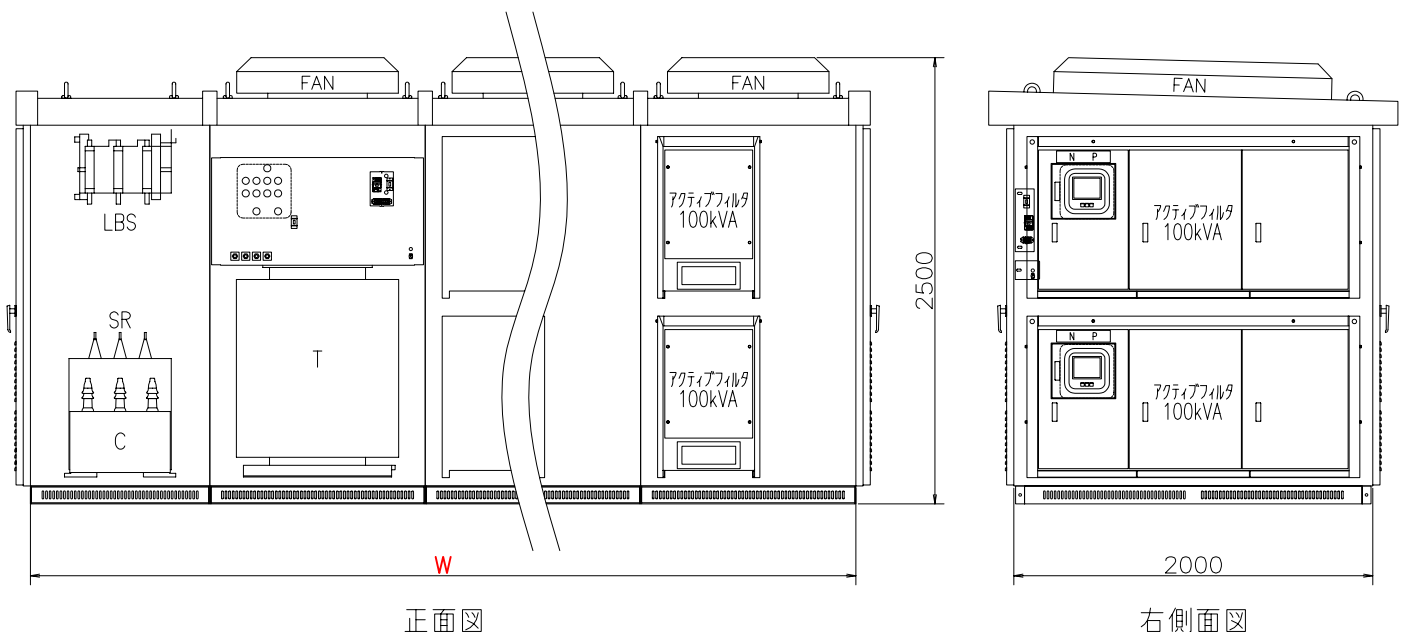


図 11 フリッカ抑制装置

4. 固定コンデンサによるフリッカ対策効果について

フリッカ対策には大容量の固定コンデンサを設置すればよい – しばしば、このような話を聞くことがありますが、固定コンデンサのみで有効なフリッカ対策は行えません。

多くの受変電設備では、力率改善のために高圧進相コンデンサ設備を導入しています。下図のように、確かにコンデンサの発生する進相無効電力によって力率及び電圧降下を改善する事が可能ですが、実際の電圧変動 ΔV やフリッカ値 ΔV_{10} に対してはまったく効果はありません。また、基準以上の電圧上昇を生じさせても電力会社の電圧維持装置によって基準電圧以下に調整されてしまいます。

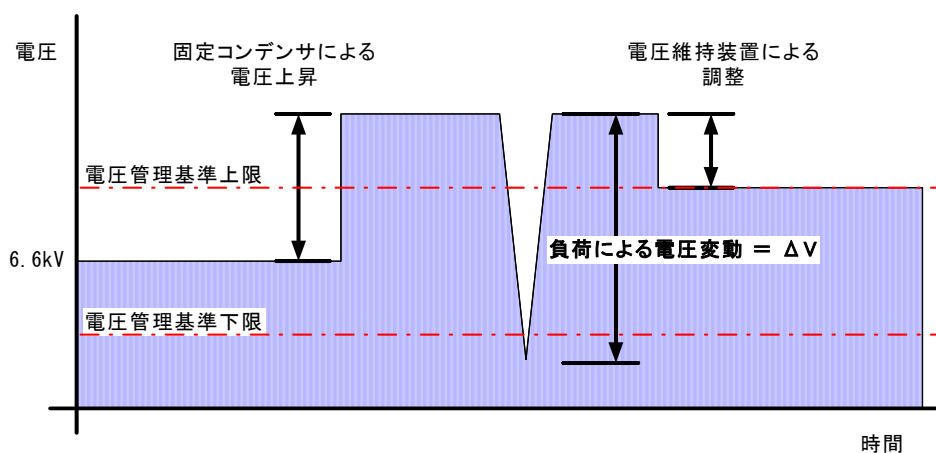


図 12 コンデンサと電圧変動

5. 力率改善とフリッカ対策の違いについて

大規模な設備では、多数のコンデンサバンクを持ち自動力率調整装置によって力率を常に 1 にするよう制御している事もあります。こうした自動力率調整装置は、フリッカの対策方法には有効ではないのでしょうか。

こちら、答えは、残念ながら「有効ではない」です。

確かにフリッカ対策の本質は、進相無効電力を供給し受電点での力率を改善することによって系統の電圧降下を抑えることであり、この点だけは上記の自動力率調整装置も当てはまっています。しかしながら、自動力率調整装置の入切制御タイミングは、装置の性質上、速くても数分単位の制御であることから、電圧変動・フリッカの電圧変動タイミングに追従して抑制することはできませんので、電圧変動・フリッカ対策機器とはなりません。

6. SVR によるフリッカ対策効果について

配電線に設置される SVR (Step Voltage Regulator 自動電圧調整器) にてフリッカ対策が可能か? という点、答えは「できない」ということとなります。

表 3 のように、SVR は機械的な接点を切り替えることで電圧を調整するため接点の寿命を考慮して応答時間を数十秒以上に設定しており、電圧変動に対する応答時間が遅く、数十～数百秒 (図 15 を参照のこと) かかってしまいます。更に、図 13 のように、大容量のモータ負荷の始動時や運転時の電圧変動は、数百ミリ秒～数秒の短時間の変動となります。

従って、SVR は定常的な負荷による緩やかな電圧変動に対しては効果を発揮し電圧調整を行うものの、急峻な電圧変動 (フリッカ) については効果がみられず、負荷起動時等のフリッカについては、応答時間の速いフリッカ抑制装置でなければ抑制することができません。

表 3. SVR とフリッカ抑制装置の比較表

機器の種類	原理	応答時間	電圧制御
SVR	単巻変圧器と電圧継電器を組合せ、電圧変動に応じて単巻変圧器のタップを切り替える。	数十～数百秒	①段階的制御 ②設置点より下位の電圧のみ改善
フリッカ抑制装置	負荷変動に応じて無効電力を出力し、配電線に流れる無効電力を減少させる。	2msec (アクティブフィルタ方式)	①連続的制御 ②設置点の前後の電圧を改善

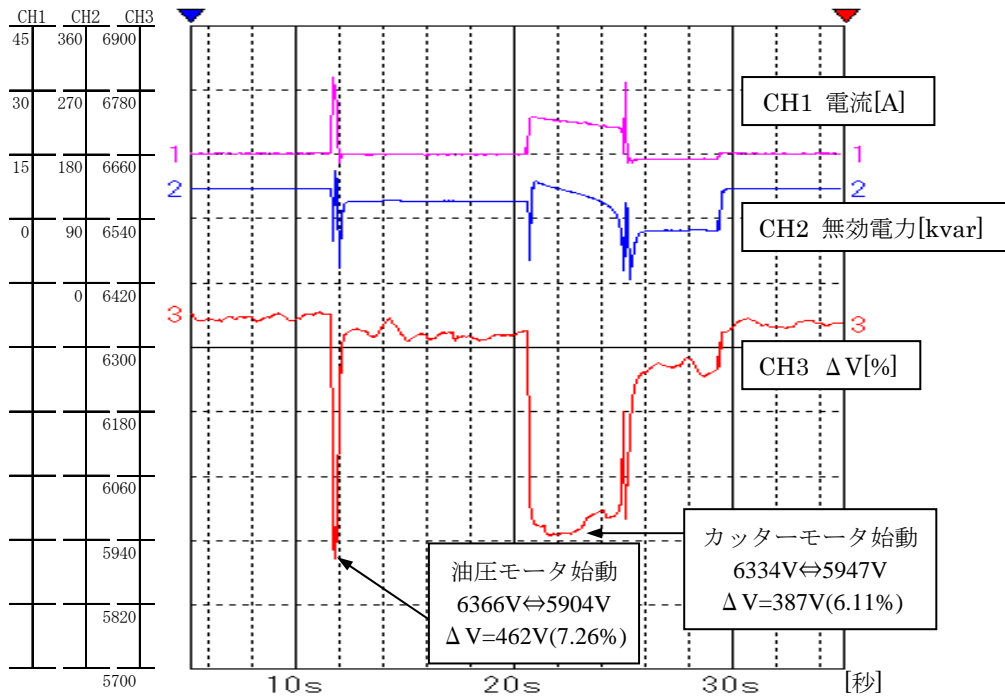


図 13. 負荷起動時の変動例 (ロードヘッダ起動時)

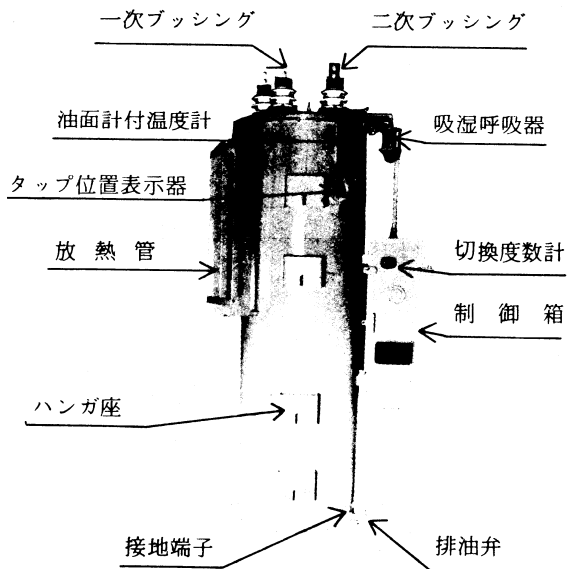


図 14. SVR の外観

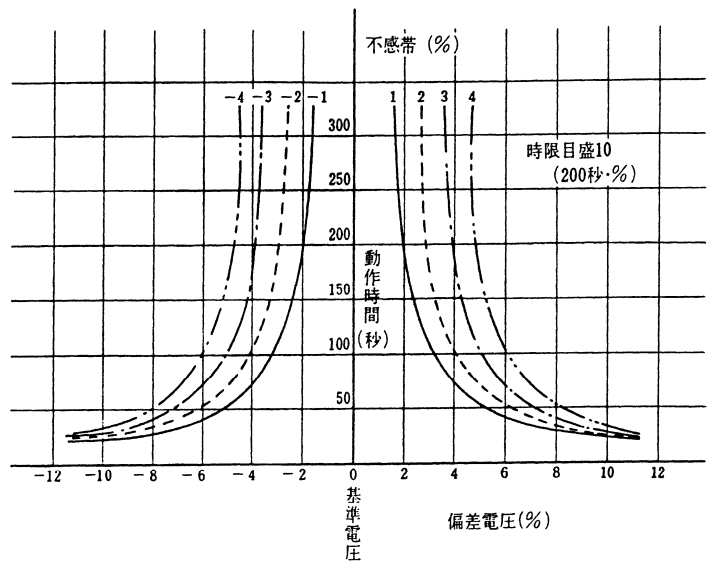


図 15. SVR の時限特性例

●フリッカ対策の効果検証

1. フリッカ測定に使う計測器

フリッカメータ

計器用変圧器等で 100V に降圧した電圧信号を入力して、系統の電圧変動率 ΔV およびフリッカ値 ΔV_{10} を計測する機器です。

ΔV および ΔV_{10} を表示するほか、指示値を電圧信号に変換して外部へ出力します。



フリッカメータ

波形記録装置

フリッカ対策の効果を確認する際に、電圧変動率 ΔV 、フリッカ値 ΔV_{10} の他にも、電流、無効電力の増減についても計測し、フリッカ抑制装置の動作具合を検証します。

それらのデータを記録・保存し、グラフ化する機器です。



波形記録装置

2. フリッカ対策の効果検証方法

受電点にフリッカメータ等を設置して、電流、無効電力、電圧変動率 ΔV 、フリッカ値 ΔV_{10} を以下の場合について測定することで、フリッカ抑制装置の効果を確認することができます。

- ① フリッカ抑制装置を停止した状態での各値の測定
- ② フリッカ抑制装置を運転した状態での各値の測定

フリッカ抑制装置は、負荷の無効電力を補償することで、配電線に流れる電流を減らし、電圧変動を抑制するものです。

そのため、上記①②の場合の測定結果を比較して、いずれの値もフリッカ抑制装置運転状態の場合の方が小さい値であること、また、電圧変動率 ΔV 、フリッカ値 ΔV_{10} が許容値以内に収まっていることを確認することで、フリッカ抑制装置の効果を検証します。

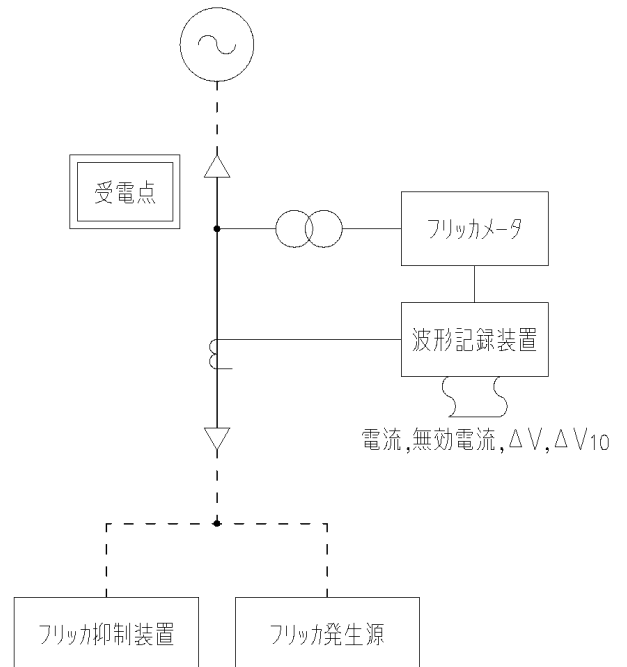


図 16 フリッカ測定風景

● 実際の対策例

ここでは、具体的な工事設備を元に対策を考えてみます。

1. TBM

1 機器の用途

岩石層の山を全断面にて掘り進む機械です。

2 設備内容

カッターモータ 180kW が 5 台ついており、
コンドルファ起動にて順次起動を行います。

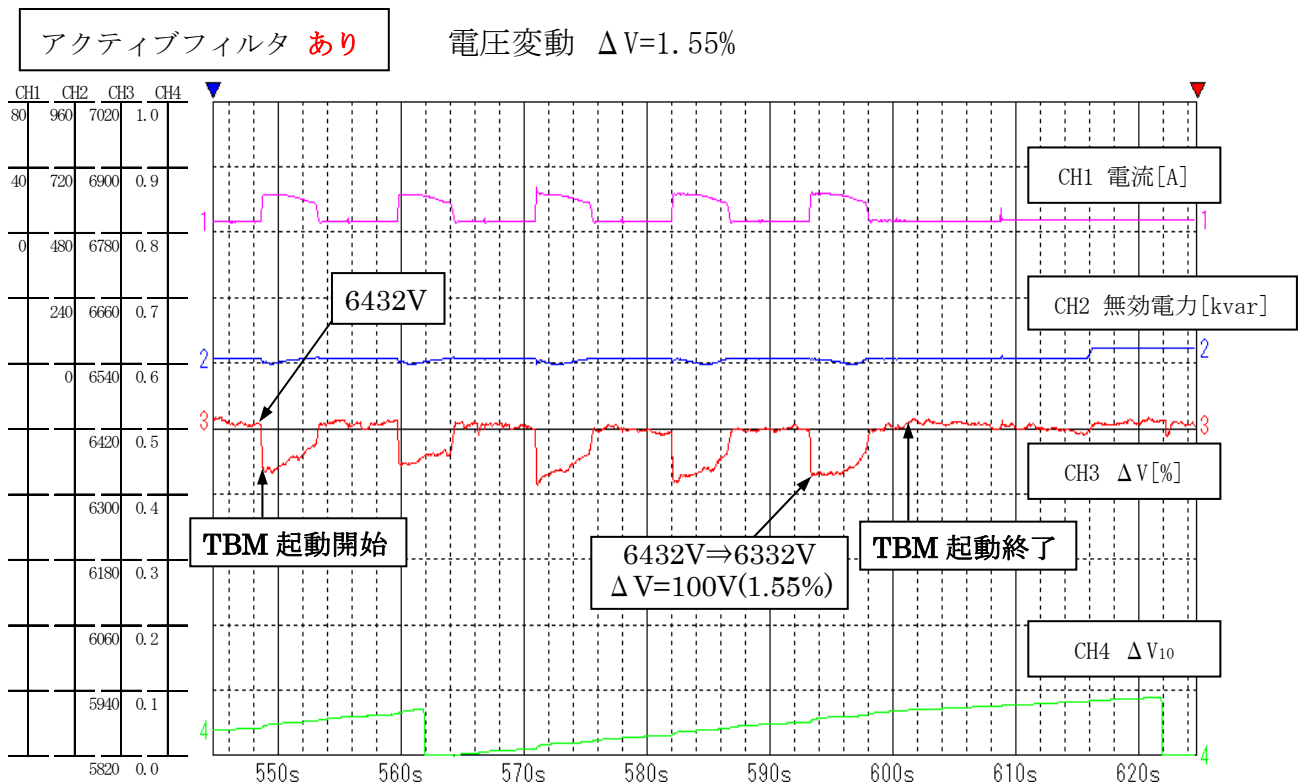
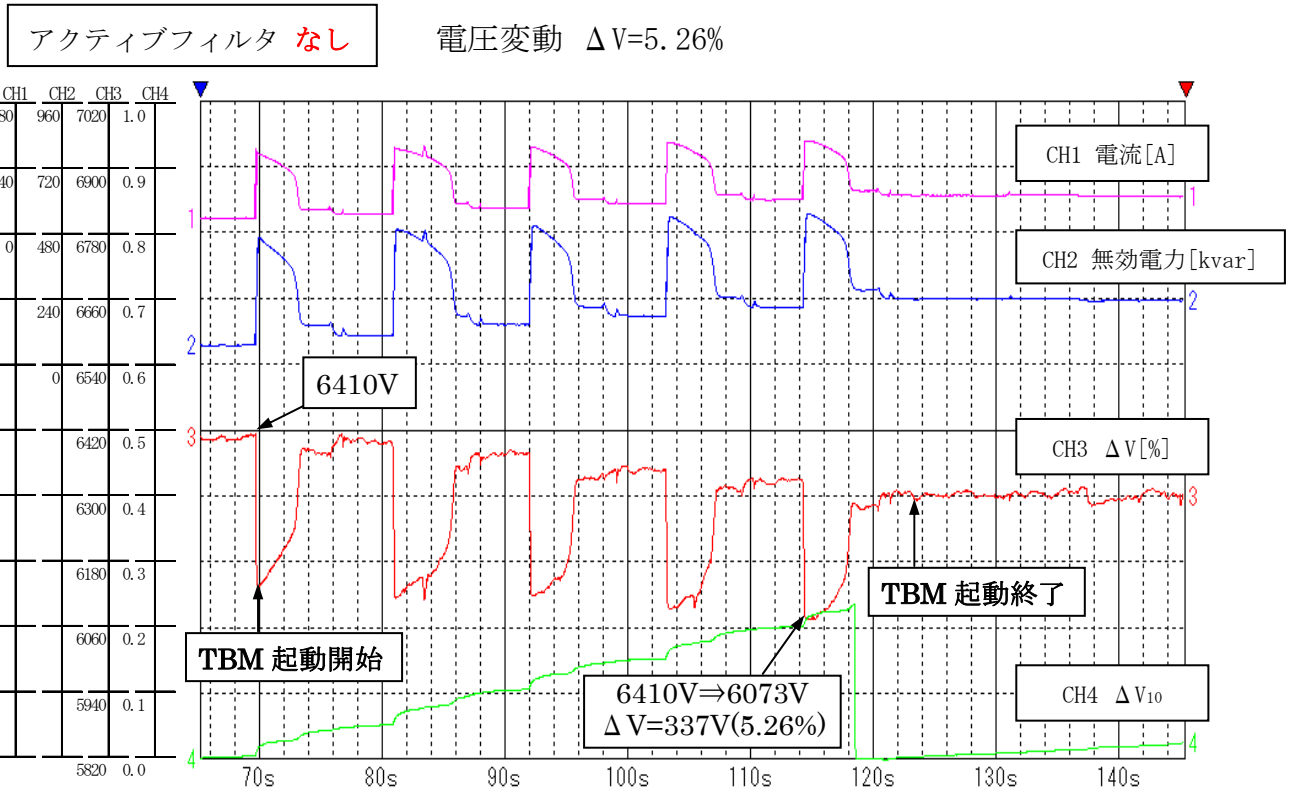


3 対策例

A トンネル作業所 現場データ		
配電線インピーダンス (10MVA基準)	%R	39.86
	%X	64.06
許容値	ΔV [%]	3
	ΔV_{10}	0.45
TBMの特性 (始動時)	容量[kW]	180×5
	定格電圧[V]	440
	始動力率[%]	30
	始動方法	コンドルファ
	視感度係数	0.04
TBM 始動時の $\Delta V \cdot \Delta V_{10}$ の予測計算値	ΔV [%]	7.11 > 3
	ΔV_{10}	0.378 < 0.45
当現場に設置した フリッカ抑制装置	1100 kVA (アクティブフィルタ方式)	

4 実測データ

受電点で実測した下記のグラフを見ると、アクティブフィルタによって ΔV が許容値以下に抑制されていることが分かります。



フリッカ対策計算書1

1. 検討条件

(1) 配電線インピーダンス (10MVAベース)

$$\%R = 39.86 \quad \%X = 64.06$$

2. 検討

(1) TBMカッターモータの始動

TBMカッターモータ5台をコンドルファ起動で順次始動し、4台が負荷率30%で運転中に1台を始動する場合について検討します。

	No.	負荷名称	容量 [kW]	台数 [台]	合計容量 [kW]	負荷率 [%]	皮相電力 [kVA]	有効電力 [kW]	無効電力 [kvar]	始動時 V[%]
始動	1	TBMカッターモータ	180	1	180	-	689	207	658	5.04
定常	1	TBMカッターモータ	180	4	720	30	287	216	189	
合計							947	423	847	

この場合の力率cos、sinは、

上記の皮相電力、有効電力、無効電力より下記のようになります。

$$\cos = 44.7 \quad \sin = 89.4$$

始動時の電圧変動率 V[%]、フリッカ値 V_{10} は、下記のようになります。

$$V = 947 (39.86 \times 0.447 + 64.06 \times 0.894) \times 10^{-4} = 7.11 \quad [\%]$$

$$V_{10} = 5.04 \times 0.075 = 0.378$$

3. 対策の要否

判定の条件は、下記のようになっています。

$$V < 3 \quad [\%] \quad V_{10} < 0.45 \quad [\%]$$

前項までの検討について、対策の要否の判定をします。

$$V = 7.11 \quad [\%] \quad > \quad 3 \quad [\%] \quad \dots \quad \text{対策要}$$

$$V_{10} = 0.378 \quad [\%] \quad < \quad 0.45 \quad [\%] \quad \dots \quad \text{対策不要}$$

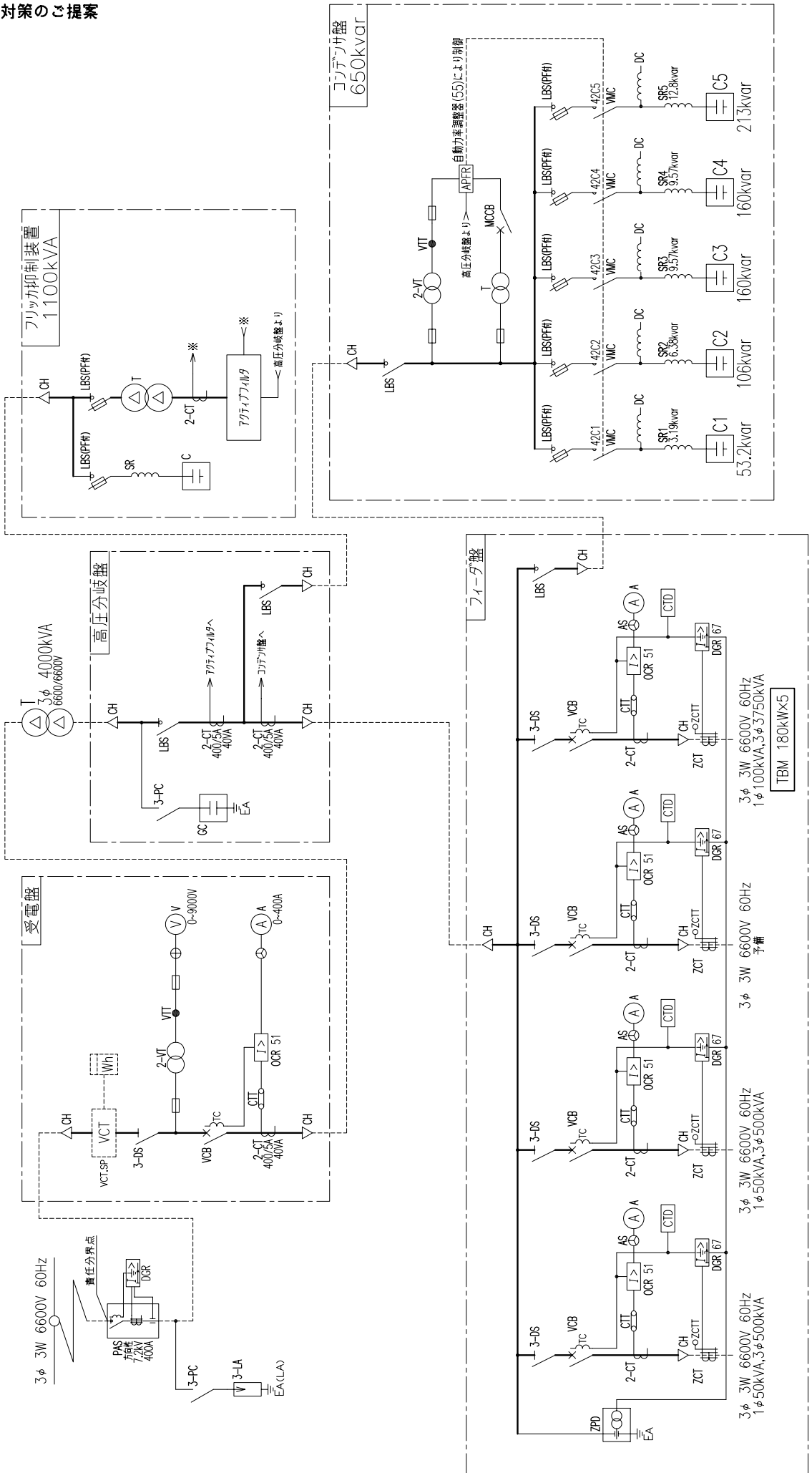
4. フリッカ抑制装置の選定

$$\begin{aligned} \text{フリッカ補償容量} &= \text{定常分} + (V - V_{\text{許容値}}) \div \%X \times 10^4 \div \text{補償率} \times \text{余裕率} \\ &= 200 + (7.11 - 3.00) \div 64.06 \times 10^4 \div 0.85 \times 1.2 \\ &= 1106 \quad [\text{kVA}] \end{aligned}$$

フリッカ抑制装置としては、下記のものが適当です。

$$\text{フリッカ抑制装置} \quad 1100 \quad [\text{kVA}] \quad \text{型式} : \text{AFH-1165C}$$

1 当現場においてフリッカ抑制装置が補償する定常負荷の無効電力は200kvarになります。



2. ケーブルクレーン

1 機器の用途

谷間などで兩岸にアンカをとって、その間にケーブルを張り、そのケーブル上にトロリーを走らせ、トロリーから下げたフックで資材などを吊って運搬します。



2 設備内容

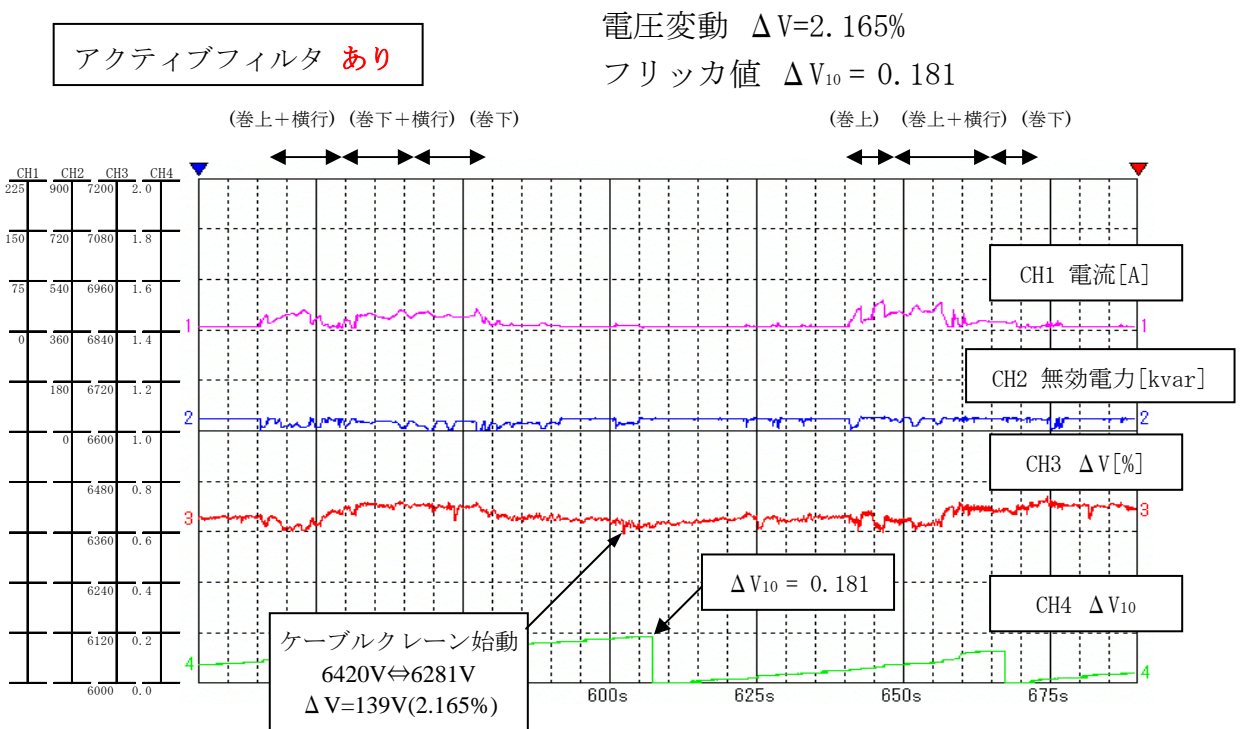
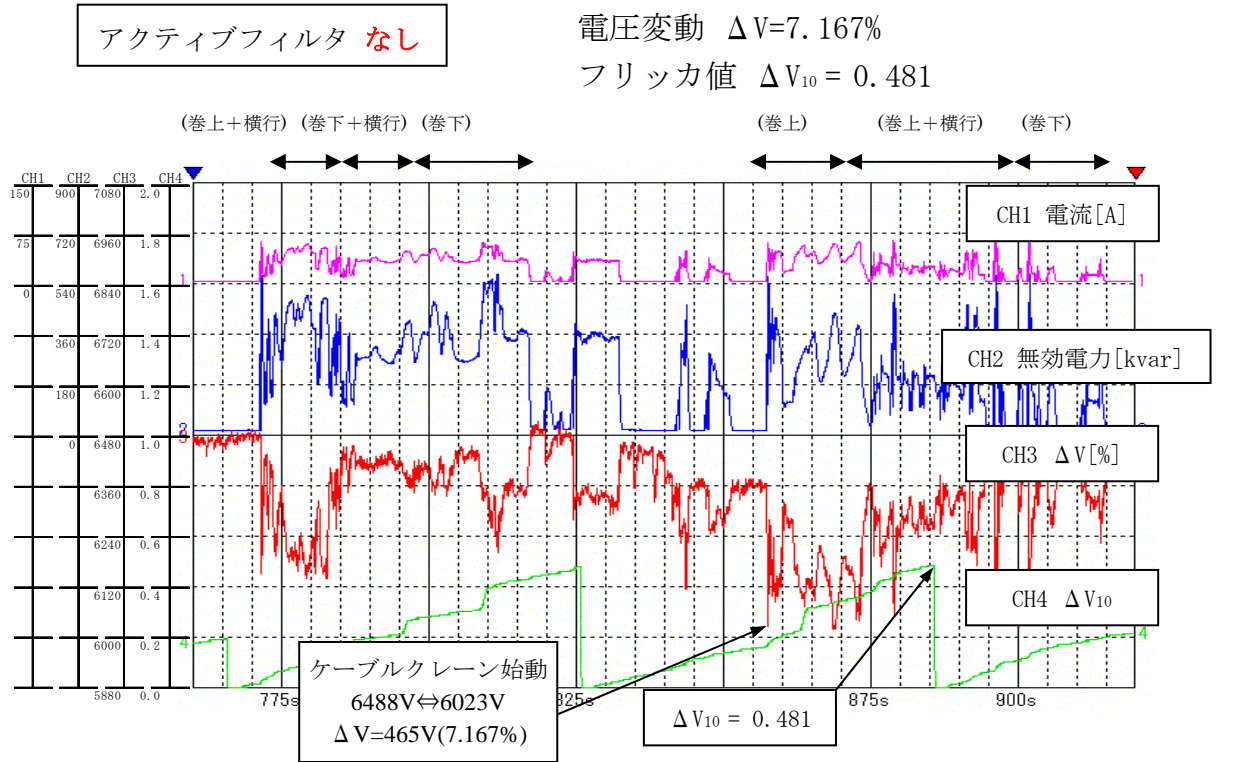
ケーブルクレーンは直流電動機を用いる直流サイリスタ起動のため、緩やかな起動なのですが、容量が大きいため、起動時の電圧降下が問題となることがあります。また、高調波の検討も必要です。また、速度制御方式にはサイリスタレオナード方式を用いることが多いです。

3 対策例

Bダム作業所 現場データ		
配電線インピーダンス (10MVA基準)	%R	24.99
	%X	69.57
許容値	ΔV [%]	5
	ΔV_{10}	0.45
ケーブルクレーンの特性 (始動時)	容量[kW]	巻上 : 350 横行 : 230
	定格電圧[V]	440
	力率	30
	始動方法	サイリスタレオナード ^o
	視感度係数	0.04
ケーブルクレーン 始動時の $\Delta V \cdot \Delta V_{10}$ の予測計算値	ΔV [%]	10.01 > 5
	ΔV_{10}	0.400 < 0.45
当現場に設置した フリッカ抑制装置	1000 kVA (アクティブフィルタ方式)	

4 実測データ

ケーブルクレーン始動時における ΔV 、 ΔV_{10} の実測データを下に示します。これによると、アクティブフィルタが ΔV 、 ΔV_{10} を許容値以下に抑制していることがわかります。



フリッカ対策計算書2

1. 検討条件

(1) 配電線インピーダンス (10MVAベース)

$$\%R = 24.99 \quad \%X = 69.57$$

2. 検討

(1) ケーブルクレーン巻上・横行の同時始動時

ケーブルクレーンの巻上・横行を同時始動する場合について検討します。

	No.	負荷名称	容量 [kW]	台数 [台]	合計容量 [kW]	皮相電力 [kVA]	有効電力 [kW]	無効電力 [kvar]	始動力率 [%]	始動方法
始動	1	ケーブルクレーン(巻上)	350	1	350	820	246	782	30	直流サリスタ
始動	2	ケーブルクレーン(横行)	230	1	230	535	161	510	30	直流サリスタ
合計						1355	407	1292		

この場合の力率 \cos , \sin は、
上記の皮相電力, 有効電力, 無効電力より下記のようになります。

$$\cos = 30.0 \quad \sin = 95.4$$

始動時の電圧変動率 V [%]、フリッカ値 V_{10} は、下記のようになります。

$$V = 1355 (24.99 \times 0.300 + 69.57 \times 0.954) \times 10^{-4} = 10.01 \quad [\%]$$

$$V_{10} = 10.01 \times 0.04 = 0.400$$

3. 対策の要否

判定の条件は、下記のようになっています。

$$V < 5 \quad [\%] \quad V_{10} < 0.45 \quad [\%]$$

前項までの検討について、対策の要否の判定をします。

$$V = 10.01 \quad [\%] > 5 \quad [\%] \quad \dots \quad \text{対策要}$$

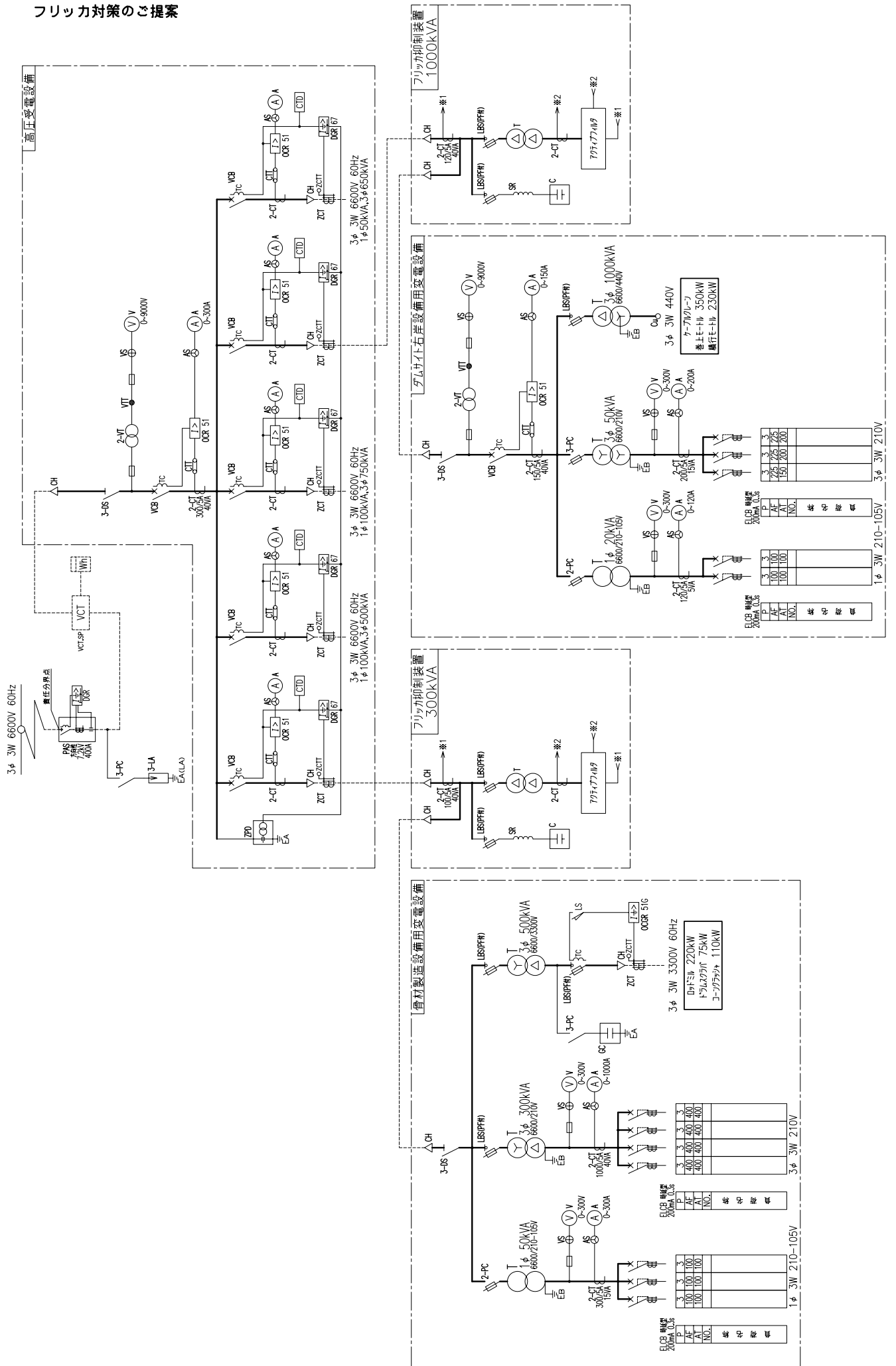
$$V_{10} = 0.400 \quad [\%] < 0.45 \quad [\%] \quad \dots \quad \text{対策不要}$$

4. フリッカ抑制装置の選定

$$\begin{aligned} \text{フリッカ補償容量} &= (V - V_{\text{許容値}}) \div \%X \times 10^4 \div \text{補償率} \times \text{余裕率} \\ &= (10.01 - 5.00) \div 69.57 \times 10^4 \div 0.85 \times 1.2 \\ &= 1016 \quad [\text{kVA}] \end{aligned}$$

フリッカ抑制装置としては、下記のものが適当です。

$$\text{フリッカ抑制装置} \quad 1000 \quad [\text{kVA}] \quad \text{型式} : \text{AFH-1064C}$$



3. ドリルジャンボ

1 機器の用途

自走式の削岩機で、ブーム先端に取り付けた削岩機により、発破用穿孔及び、ロックボルト孔の施工を行います。



2 設備内容

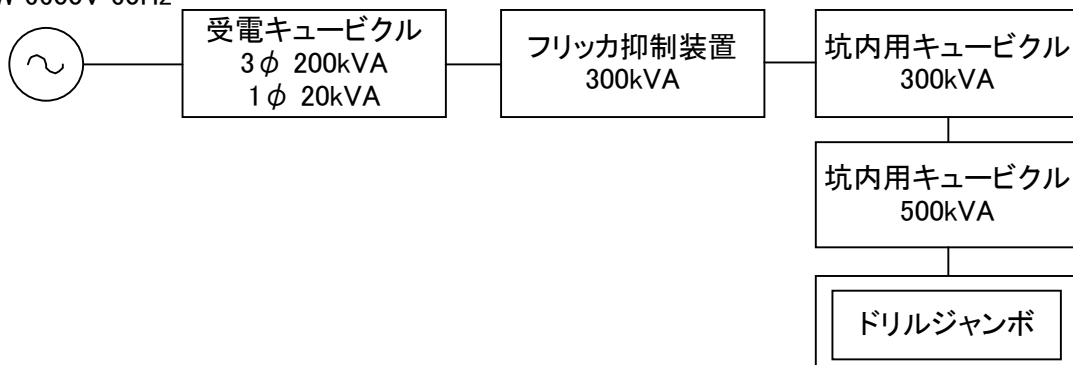
ドリルジャンボは2ブーム、3ブームのものが多く、削孔モータの出力は37～55kWで順次起動を行います。Y-Δ起動、又は直入れ起動で、始動時の大電流は電圧降下の原因となります。

3 対策例

Cトンネル作業所 現場データ		
配電線インピーダンス (10MVA基準)	%R	18.29
	%X	52.77
許容値	ΔV[%]	3
	ΔV ₁₀	0.45
ドリルジャンボの特性 (始動時)	容量[kW]	55×2
	定格電圧[V]	440
	力率	30
	始動方法	直入れ
	視感度係数	0.04
ドリルジャンボ 始動時の ΔV・ΔV ₁₀ の予測計算値	ΔV[%]	3.47 > 3
	ΔV ₁₀	0.132 < 0.45
当現場に設置した フリッカ抑制装置	300 kVA (アクティブフィルタ方式)	

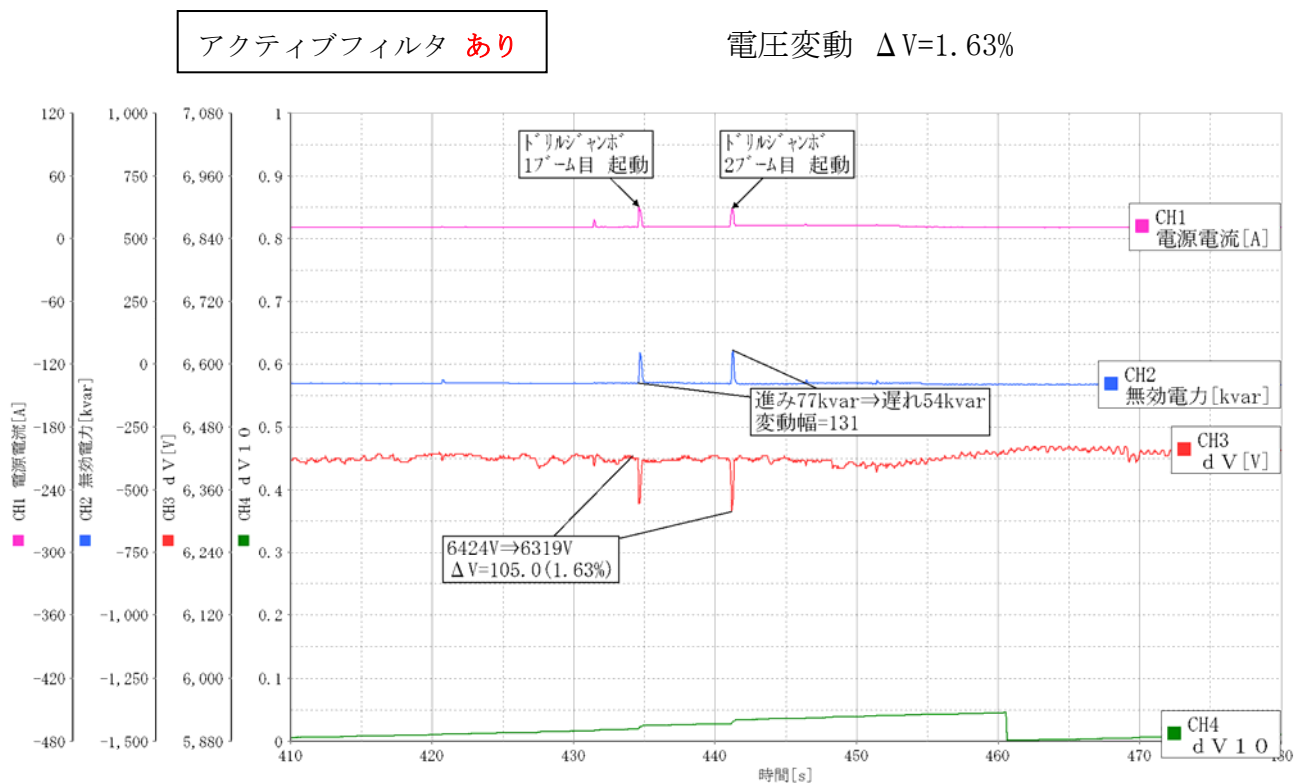
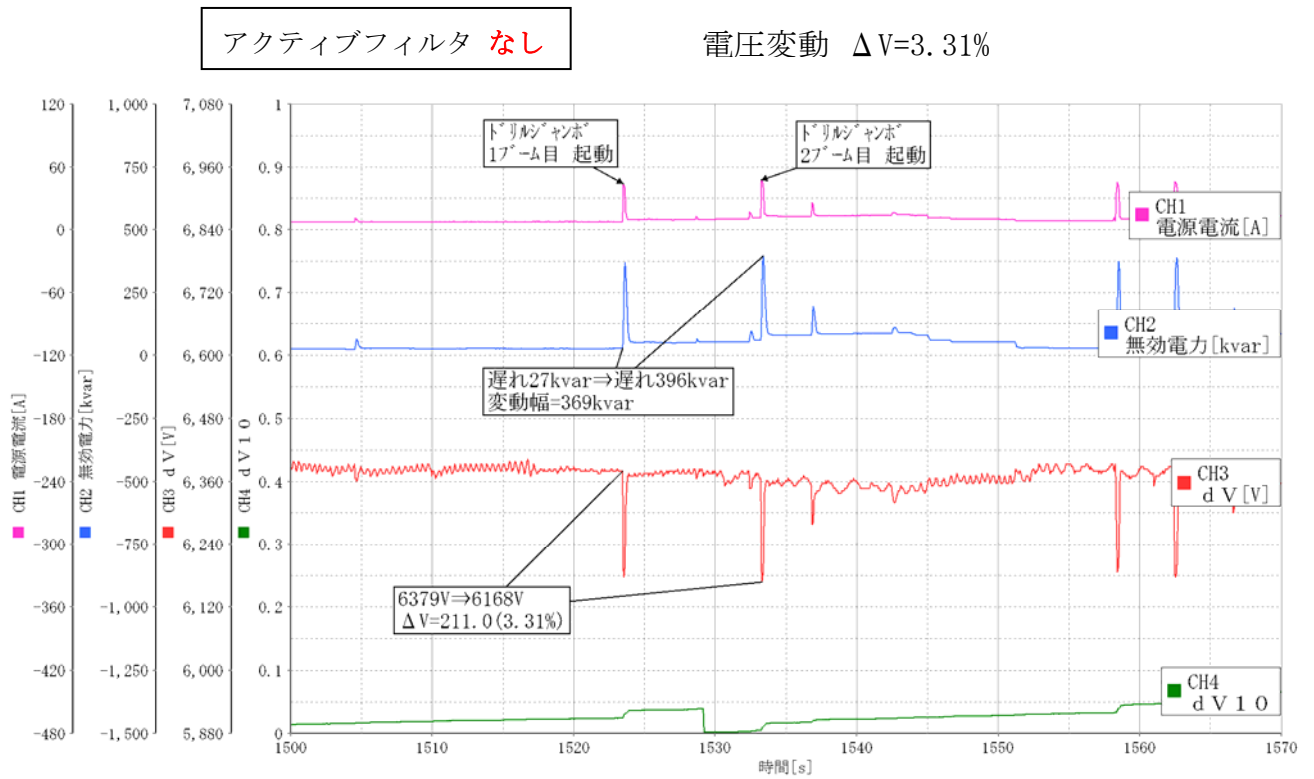
4 構内結線図

3φ 3W 6600V 60Hz



4 実測データ

ジャンボ始動時における ΔV 、 ΔV_{10} の実測データを下に示します。これによると、アクティブフィルタが ΔV 、 ΔV_{10} を許容値以下に抑制していることが分かります。



4. コンクリート吹付機

1 機器の用途

自由な断面に対して型枠を用いずにコンクリートを吹き付ける機械です。掘削後の地山にコンクリートを吹き付けて硬化させ、壁面の防護と安定化を図ることができる。



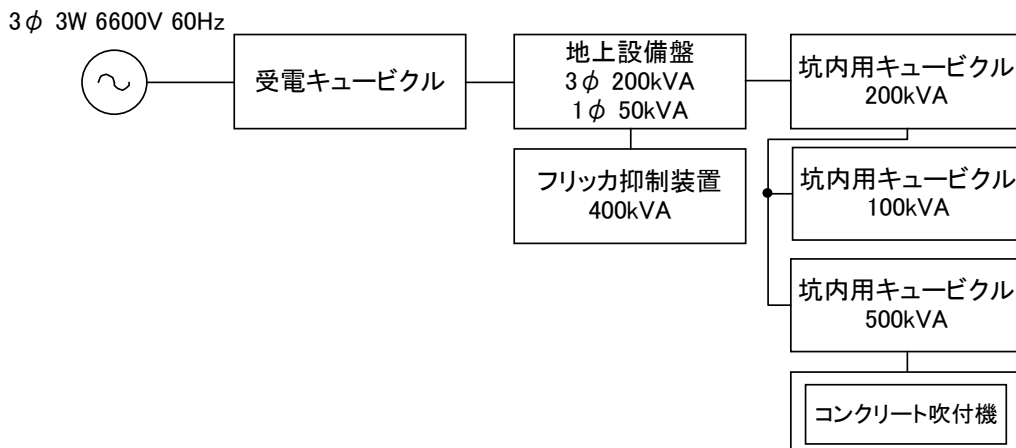
2 設備内容

コンクリートを送り出すコンプレッサと吹き付けそのものを担う吹付ロボットで構成され、モータ出力は 22~95kW、Y-Δ 起動又は直入れ起動で順次起動を行い、始動時の大電流は電圧降下の原因となります。

3 対策例

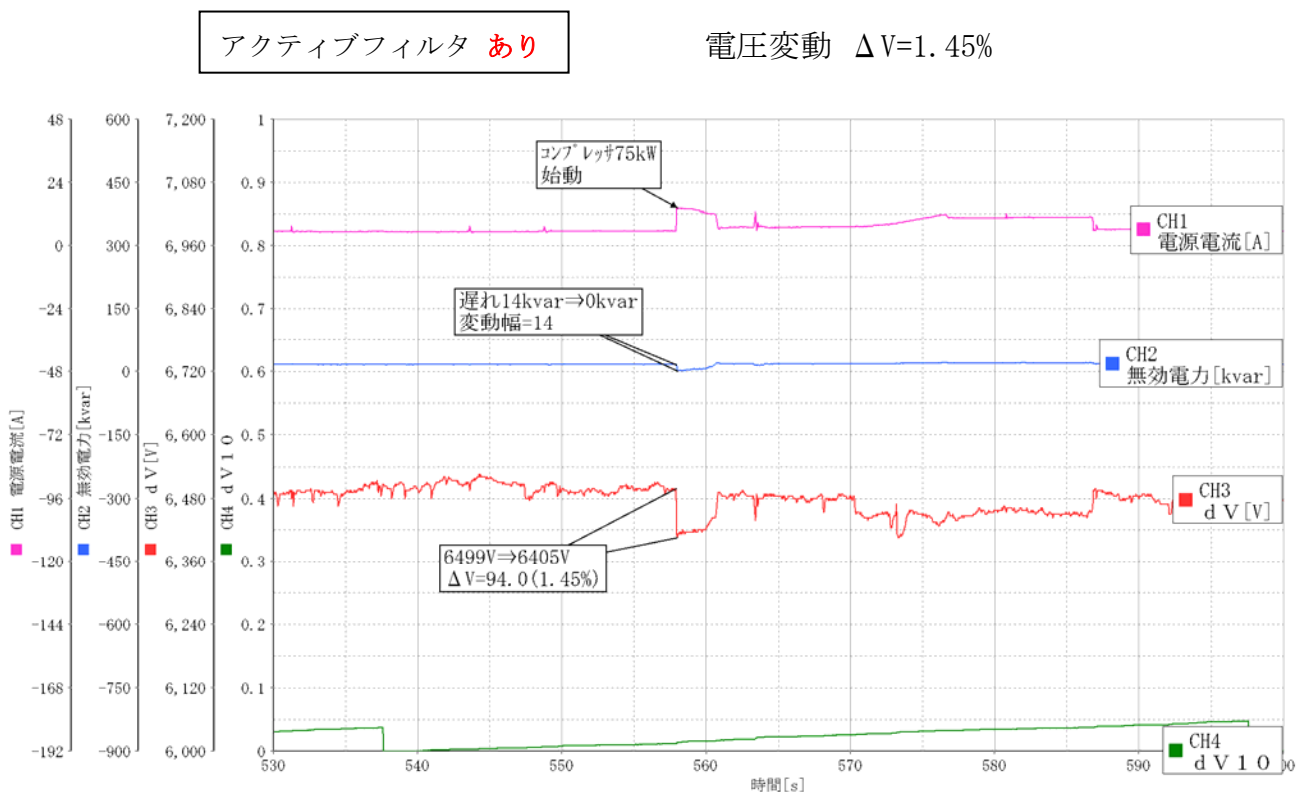
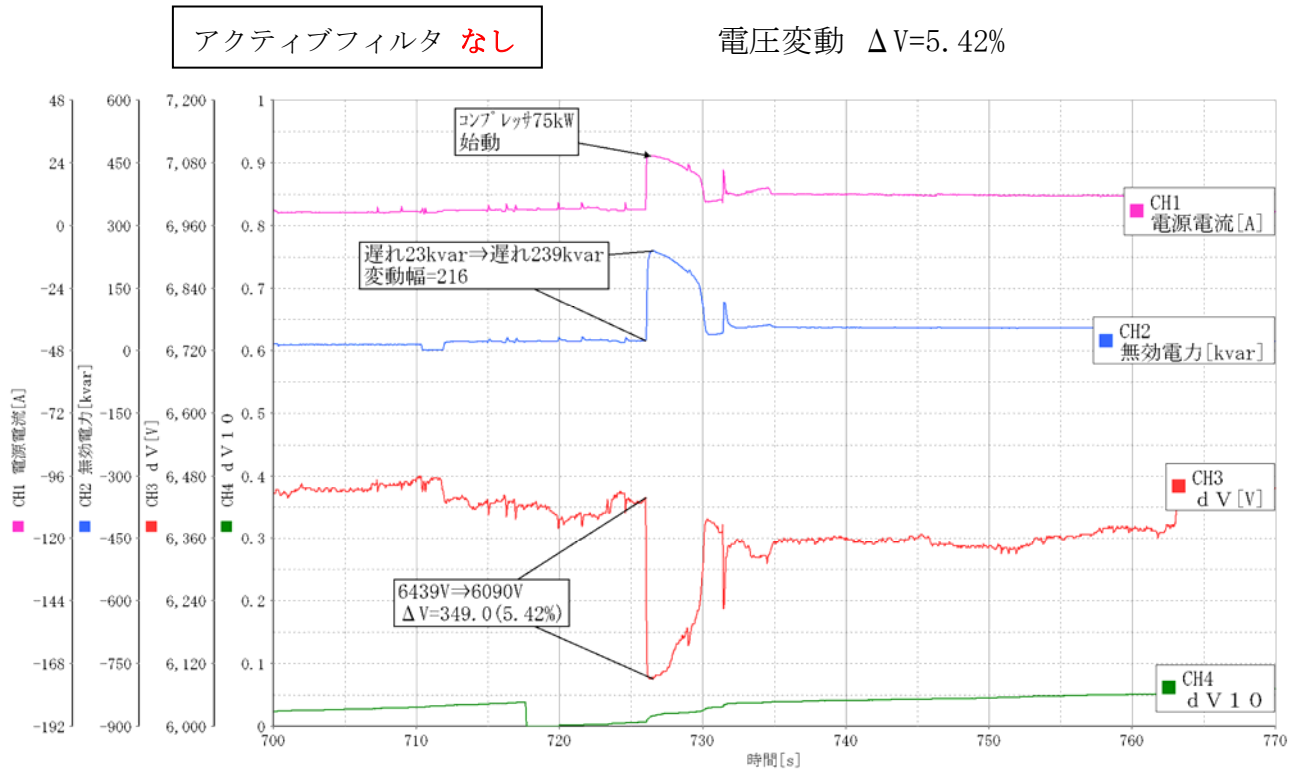
Dトンネル作業所 現場データ		
配電線インピーダンス (10MVA基準)	%R	87.98
	%X	189.24
許容値	ΔV [%]	5
	ΔV_{10}	0.45
コンクリート吹付機 の特性 (始動時)	容量 [kW]	75+37+38.4
	定格電圧 [V]	440
	力率	30
	始動方法	Y-Δ
コンクリート吹付機 始動時の $\Delta V \cdot \Delta V_{10}$ の予測計算値	視感度係数	0.04
	ΔV [%]	5.41 > 5
当現場に設置した フリッカ抑制装置	ΔV_{10}	0.195 < 0.45
	400 kVA (アクティブフィルタ方式)	

4 構内結線図



4 実測データ

コンクリート吹付機始動時における ΔV 、 ΔV_{10} の実測データを下に示します。これによると、アクティブフィルタが ΔV 、 ΔV_{10} を許容値以下に抑制していることが分かります。



5. ロードヘッダ

1 機器の用途

ブーム先端に装着したカッタの回転切削により掘削を行うもので、比較的軟らかい地質向きの自由断面掘削機です。



2 設備内容

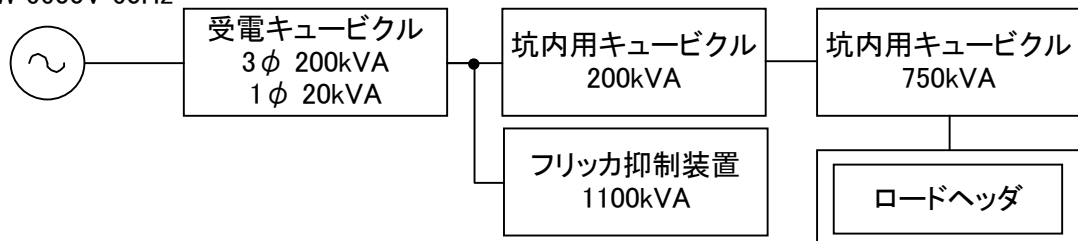
先端の掘削用カッターモータ 200kW と押し付け用油圧モータ 55kW が主な装備です。ずりの積み出し機能を持っています。まず油圧モータが直入れ起動し、次にカッターモータが Y-Δ 起動します。岩盤の掘削中は、激しい負荷変動を連続的に発生します。

3 対策例

Eトンネル作業所 現場データ			
配電線インピーダンス (10MVA基準)	%R	99.95	
	%X	141.09	
許容値	ΔV[%]	3	
	ΔV ₁₀	0.45	
ロードヘッダの特性 (始動時/運転時)	容量[kW]	200	
	定格電圧[V]	440	
	力率	30 / 80	
	始動方法	Y-Δ	
	視感度係数	0.04 / 0.563	
ロードヘッダ 始動/運転時の ΔV・ΔV ₁₀ の予測計算値	運転時	ΔV[%]	2.21 < 3
		ΔV ₁₀	1.246 > 0.45
	始動時	ΔV[%]	10.31 > 3
		ΔV ₁₀	0.413 < 0.45
当現場に設置した フリッカ抑制装置	1100 kVA (アクティブフィルタ方式)		

4 構内結線図

3φ 3W 6600V 60Hz



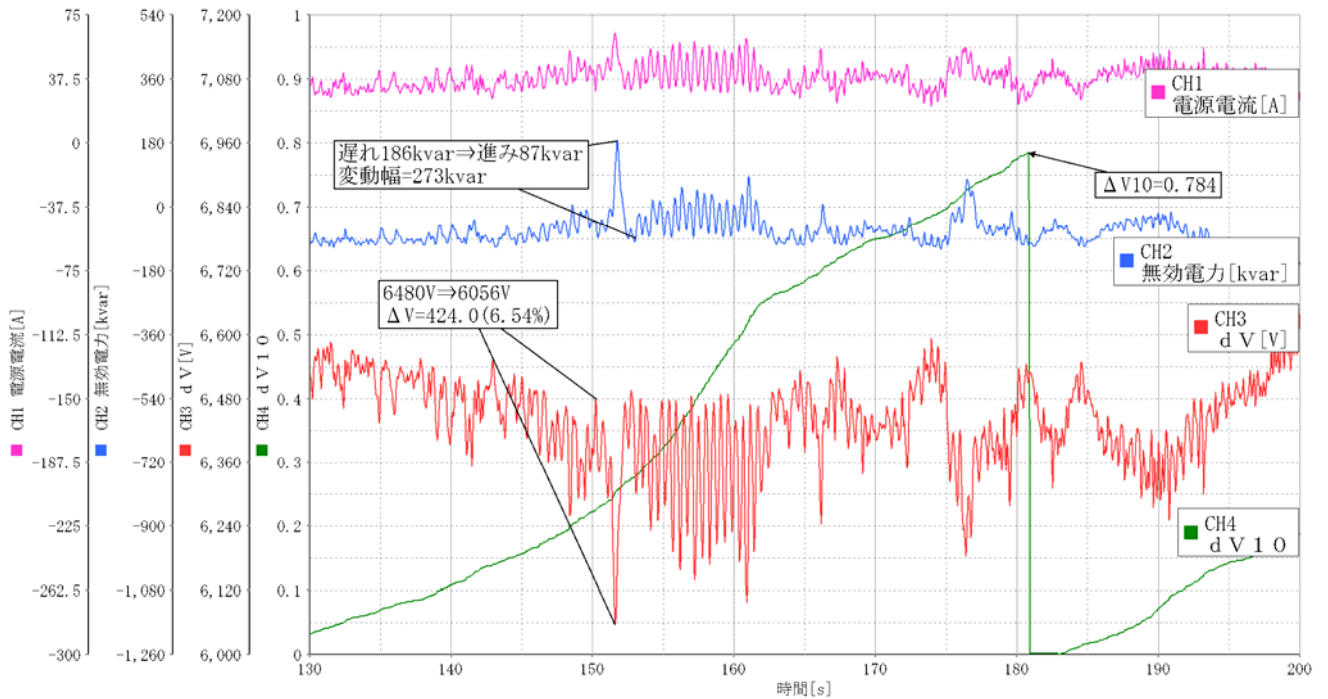
4 実測データ

ロードヘッダ運転時における ΔV 、 ΔV_{10} の実測データを下に示します。これによると、アクティブフィルタが ΔV 、 ΔV_{10} を許容値以下に抑制していることが分かります。

アクティブフィルタ なし

電圧変動 $\Delta V=6.54\%$

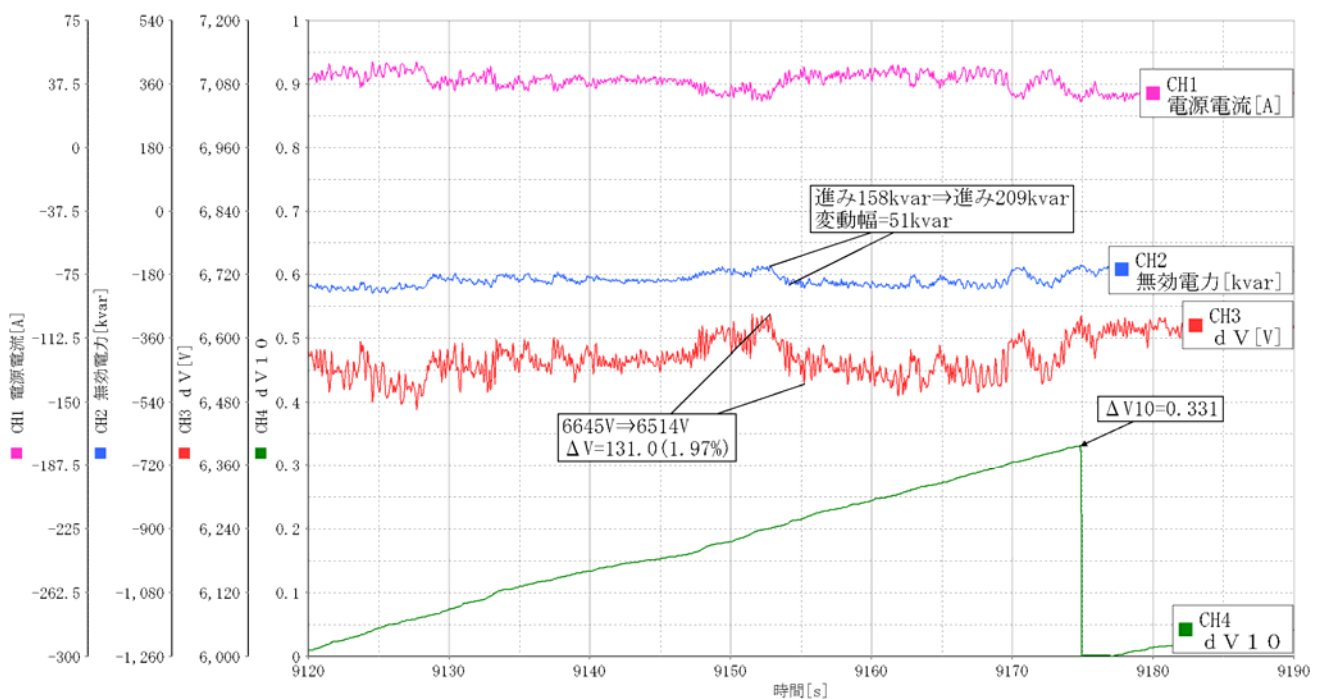
フリッカ値 $\Delta V_{10} = 0.784$



アクティブフィルタ あり

電圧変動 $\Delta V=1.97\%$

フリッカ値 $\Delta V_{10} = 0.331$

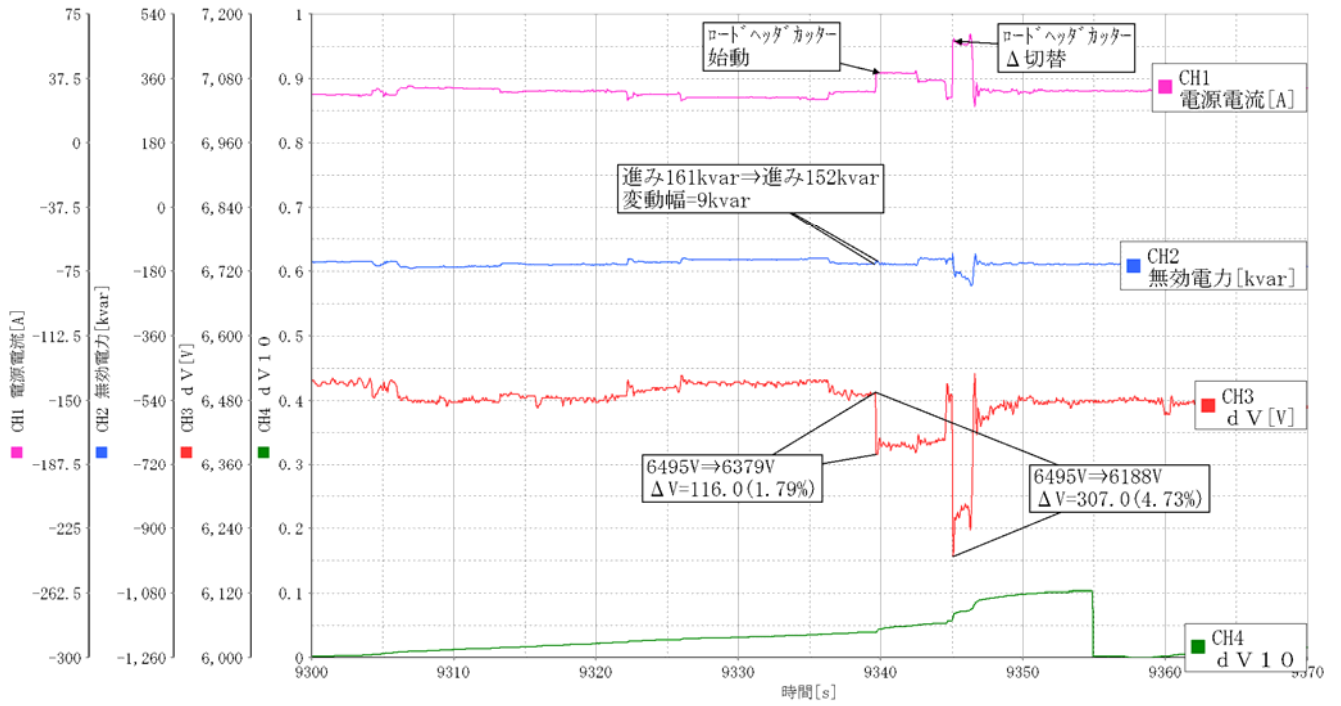


フリッカ対策のご提案

ロードヘッダ始動時における ΔV 、 ΔV_{10} の実測データを下に示します。

アクティブフィルタ **あり**

電圧変動 $\Delta V=1.79\%$



●フリッカ対策のご提案 まとめ

最近、トンネル工事などでフリッカ・電圧変動の発生により支障が生じた場合は、すみやかに抑制装置を設置するという覚書を電力会社と交わすことが多くなっているようです。フリッカ現象の発生しそうな作業所では、電力契約時にフリッカ計算書を作成し電力会社と協議します。特に、土木の現場では大型のモータを使用するため、その起動時の電圧降下が問題となります。フリッカ現象は広範囲に影響を及ぼすため、計画段階にフリッカ・電圧変動を考慮する必要性が、今後ますます強まってくると思われまます。

しかし、現状では、フリッカ・電圧変動の対策が入札前の設備計画に盛り込まれない場合もあり、入札後、電力会社からの依頼によって対策の必要に迫られ、機器を導入することも少なくありません。これは、まだまだフリッカ・電圧変動といった電圧障害への認識が低いこと、またその障害の予測、対策および測定が技術的に困難な面を持つことなどに影響されていると考えられます。

そこでこの冊子では、「ご提案」という形で、弊社は受変電設備専門メーカーとして皆様の現場におけるフリッカ・電圧変動の抑制をトータルにお手伝いできることをご説明してきました。

フリッカ・電圧変動の対策方法にはさまざまな種類がありますが、効果・コスト・利便性からアクティブフィルタによる対策を自信を持ってお勧め致します。また、弊社ではアクティブフィルタ納入後の効果測定を実施させて頂いていますので、フリッカ・電圧変動の発生を心配することなく安心してご使用頂けます。

フリッカ・電圧変動のご相談・計算書作成から対策方法のご提案まで、迅速に対応させて頂いておりますので、何なりとお気軽にお申しつけ下さい。

