

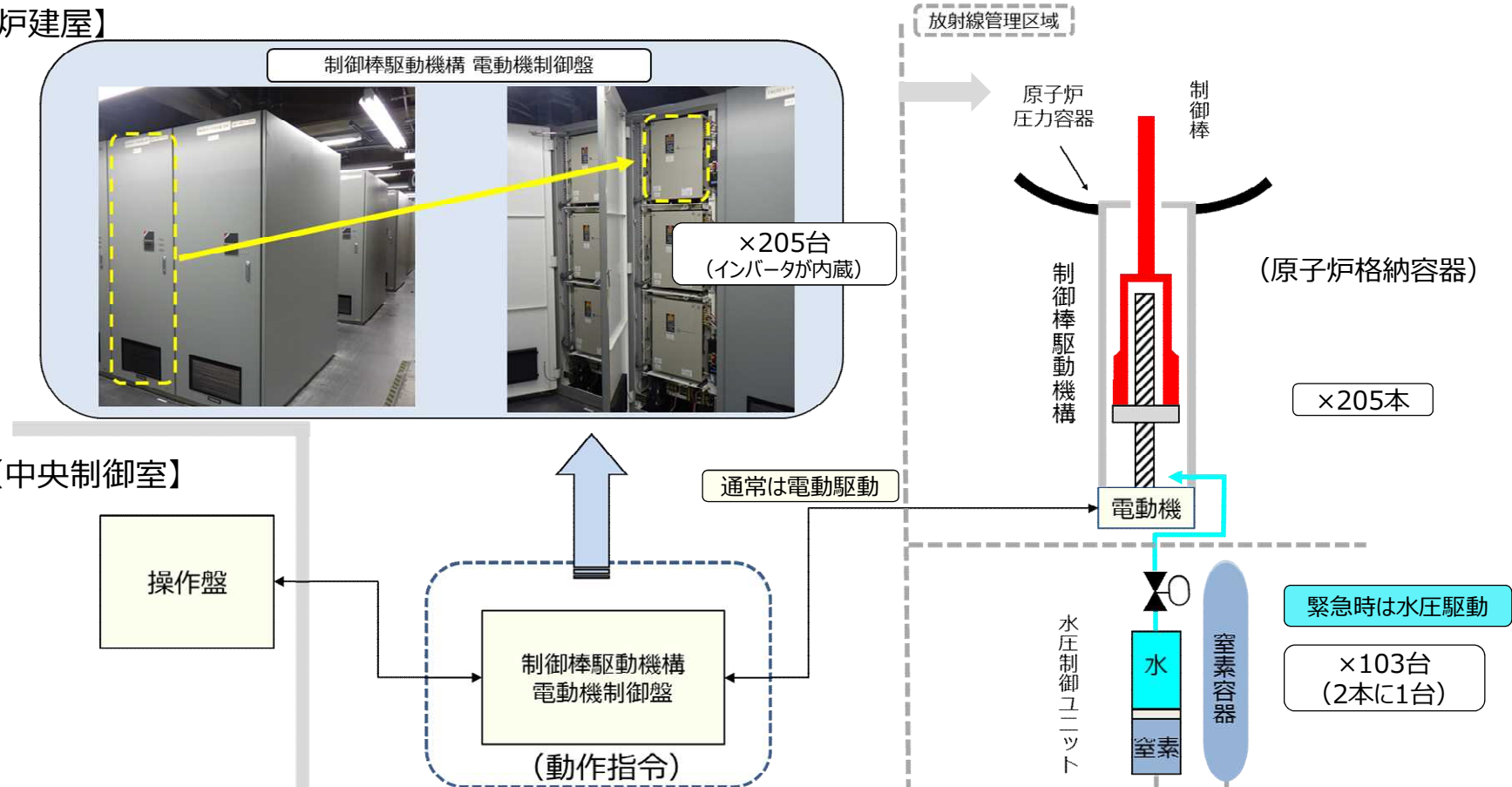
6号機 制御棒駆動機構 電動機制御盤の 警報発生に関する調査結果について

2026年2月6日
東京電力ホールディングス株式会社
柏崎刈羽原子力発電所

1. 事案概要

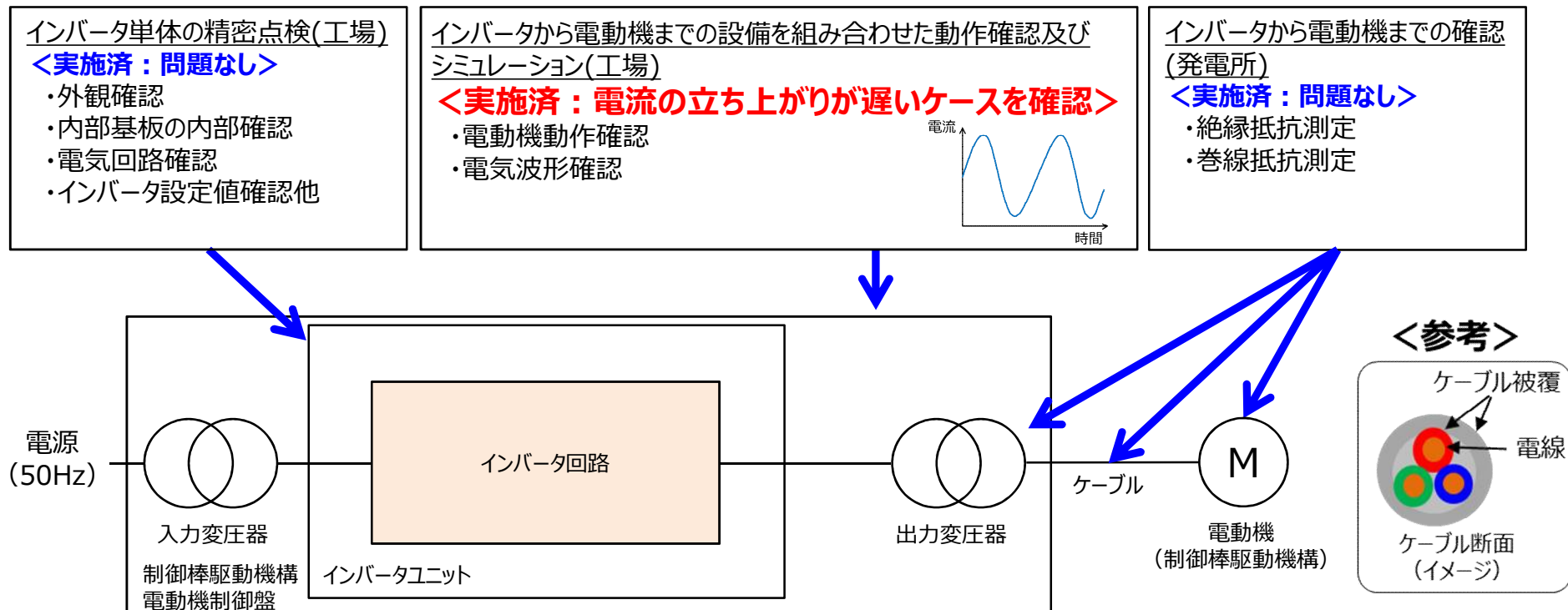
- 1月22日午前0時28分、原子炉起動操作中、制御棒の引き抜き操作を行っていたところ、1本の制御棒の電動機制御盤の警報（インバータ故障）が発生し、起動操作を中断
- 制御盤の部品（インバータ）の状態確認にて、出力波形に乱れがあったことから、予備品と取替を実施
- その後、制御棒の引き抜き操作を再開したところ、午前8時3分に再度、電動機制御盤の警報（インバータ故障）が発生
- なお、制御棒駆動機構自体および水圧制御ユニットには異常はなく、制御棒を水圧で全挿入することによる緊急停止も可能な状態（1月29日お知らせ済）

【原子炉建屋】



2. 調査結果①

- インバータ、電動機、ケーブル、変圧器の各機器について、詳細に点検を行った結果、異常が無いことを確認済（1月29日お知らせ済）
- 工場で、インバータから電動機までの設備を組み合わせ、様々な条件（電源の電圧、ケーブルの長さ、電動機負荷、温度等）を設定したうえでの試験（約600回）や、その試験結果を踏まえたシミュレーション（約900回）を実施
- その結果、電動機に電気を送る3本の電線（3相）のうちの1本で、電動機の始動時に、まれに、電流の立ち上がりが遅いケースがあることを確認 ※遅れのメカニズム詳細は、スライド5～7参照
- その電流の立ち上がりの遅れ自体は、正常な動作範囲内であるが、その遅れをインバータが「断線等の異常発生（欠相）」と検知してしまい、制御棒駆動機構が停止・警報につながったと判断



3. 調査結果②

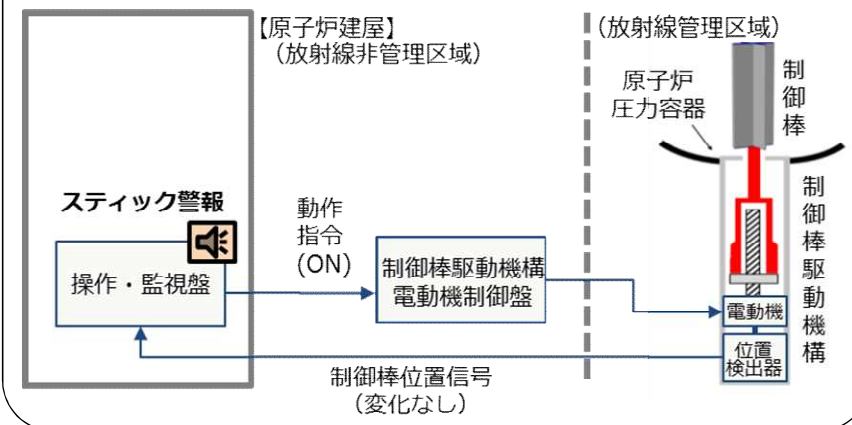
- この欠相を検知する機能（非常に短い時間での検知、短い時間での検知、検知しない の3択）は、2023年に設備更新をした際の新たなインバータに、付加的に備わっていた
- 制御棒駆動機構の電源において、この検知は電動機等の設備保護を目的として採用したものではなく、仮に不具合が発生した際、その後の点検・メンテナンスにて、原因が欠相であることの特定制定がしやすくなると考え採用したもの
- また、他のプラントメーカーが設計・施工している7号機や設備更新前の6号機には、この欠相を検知するための機能はついていない
- 更新時の工場での機能試験で問題は確認されず、これまでの制御棒の動作確認においても警報等は発生していない
- なお、設備保護機能は、異常を検知した場合に停止させる機能（制御棒スティック警報）が当初から備えられている
- また、制御棒駆動機構については、水圧制御ユニットによる緊急挿入（スクラム機能）が安全機能として重要であり、電動による制御棒の挿入ができない場合でも、制御棒を水圧で全挿入することによる緊急停止が可能

インバータに要求される機能・保護機能

	設備更新前	設備更新以降
インバータに要求される機能	制御棒動作の速さを調整	制御棒動作の速さを調整
付加的な機能	なし	「欠相検知」
異常検知時に停止させる機能	「制御棒スティック」欠相による異常を含む	「制御棒スティック」欠相による異常を含む
その他：制御棒動作に関する安全機能	水圧による制御棒挿入	水圧による制御棒挿入

制御棒スティック警報

制御棒の位置が変化しない状態が、一定時間継続すると電動機が動いていないことを検知し、発生する警報



4. 対策と類似箇所調査

<対策>

- 欠相を検知する機能の必要性について、再度検討を行った結果
 - ① 電動機やインバータを保護するものではなく、安全上必要な機能ではないこと
 - ② 設備保護機能としては、異常を検知した場合に停止させる機能（制御棒スティック警報）が備えられていることこれらにより、今回のような事案で警報等を発生させないようにするため、全ての制御棒駆動機構のインバータについて、検知しない設定とした
- この判断を確認するために、欠相を検知する機能を検知しない設定とした上で、全ての制御棒駆動機構を1本ずつ動作（1ステップ×3往復）させ、電動機始動時の電流に問題がないことを確認
- 複数本同時に制御棒を引き抜く場合の確認は、起動操作の中でしか行えないため、起動操作時に電動機の電流測定を行い、始動時の電流に問題がないか、健全性の確認を実施予定

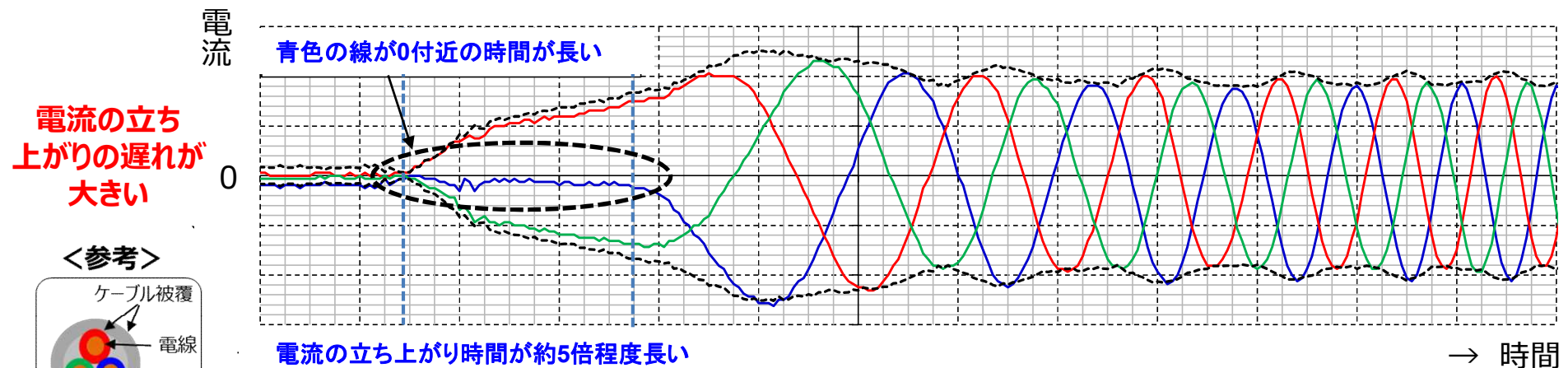
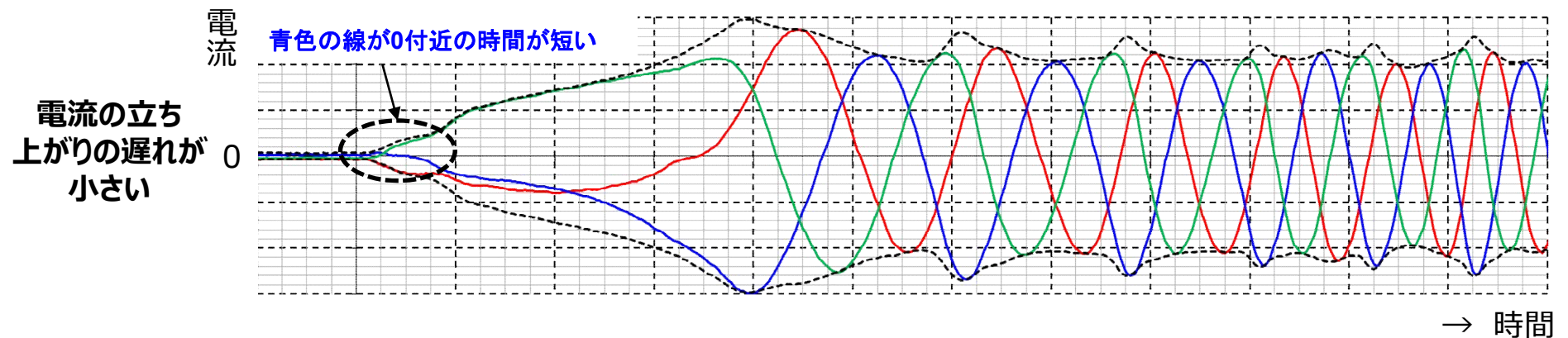
<類似箇所の調査>

- 長期停止以降に更新工事をした770案件を対象に調査
- 調査の結果、制御方法や監視機能を建設時から変更した箇所がある3つの設備を抽出（制御棒駆動機構のインバータは除く）
 - ①原子炉内蔵型再循環ポンプと制御棒駆動機構の点検時に使用する装置の制御機器、
 - ②燃料交換機のインバータ、③天井クレーンのインバータ
- この3つの設備について、設備の変更により、どのような条件で動作するのか、メーカーと詳細に調査を行い、今回のような事案で警報等を発生させないことを確認

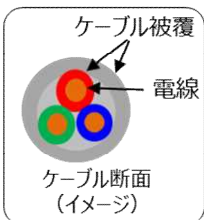
(参考) 電流の立ち上がり遅れのメカニズム

- 電流の立ち上がりの遅れが、電動機に電気を送る3本の電線（3相）のうちの1本で発生
- その電流の立ち上がりの遅れ自体は、機器の正常な動作の範囲内であり、その遅れを断線等の異常が発生した（欠相）と検知してしまい、制御棒駆動機構が停止・警報につながったと判断
- 調査の結果、主に2つの要因（起動時位相角、インバータ安定化制御）により立ち上がりの遅れが発生

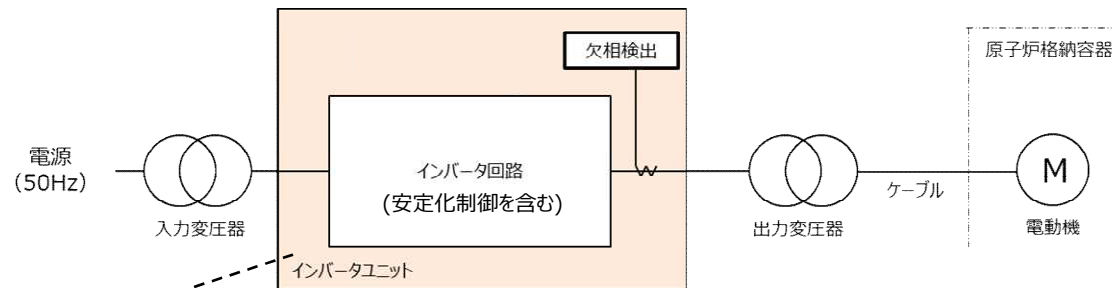
<電流波形イメージ>



<参考>



(参考) 電流の立ち上がり遅れの要因 (1/2) : 起動時位相角

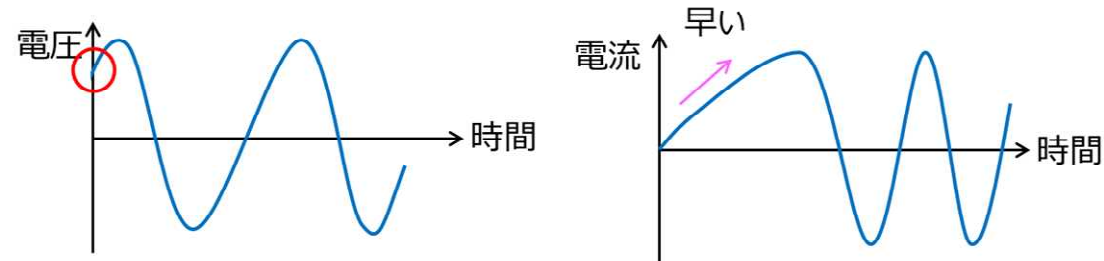


起動時位相角

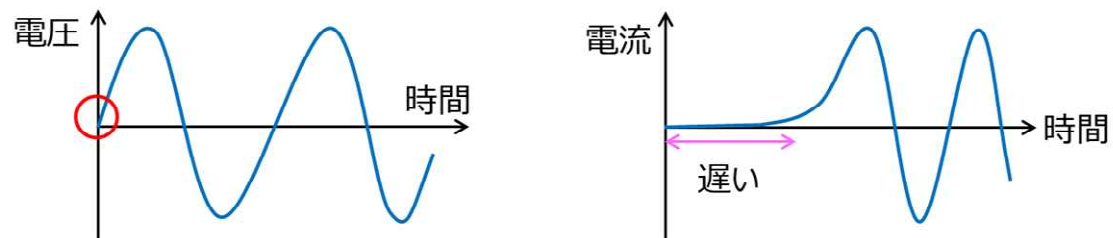
インバータ起動時の電圧によって電流の立ち上がり時間が変わる

⇒電圧が高いと電流の立ち上がりは早い、電圧が低いと電流の立ち上がりが遅れる

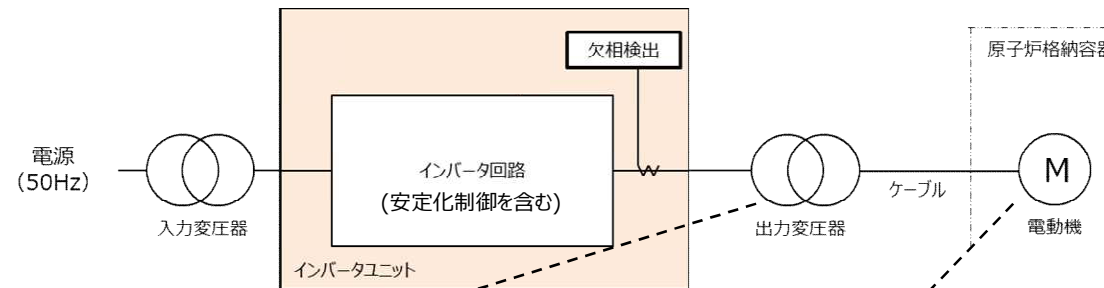
起動時位相①：電圧があるため電流の立ち上がりが早い



起動時位相②：電圧が低いため電流の立ち上がりが遅れる



(参考) 電流の立ち上がり遅れの要因 (2/2) : インバータ安定化制御



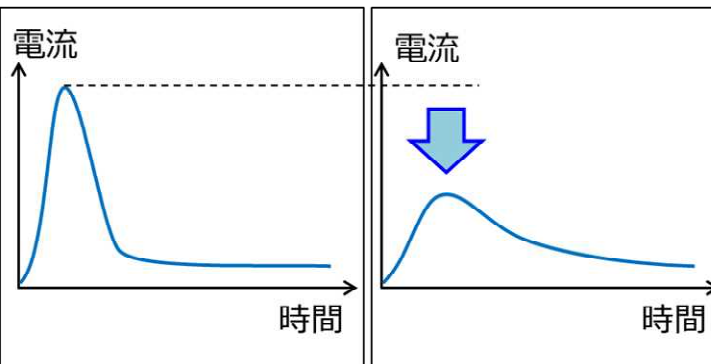
出力変圧器

電動機起動時トルク

出力変圧器

変圧器は電圧が加わった直後に電流が流れやすい

⇒インバータの安定化制御で急激に電流が流れないように電流を抑制するため電流の立ち上がりが遅れる



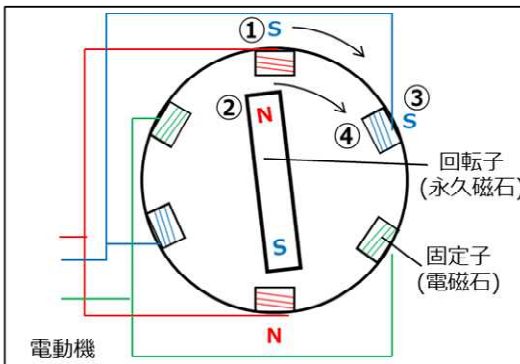
安定化制御なし

安定化制御あり

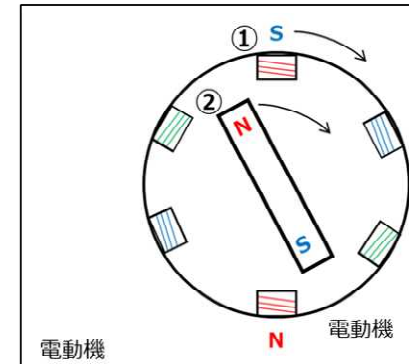
電動機起動時トルク

電動機が停止した状態からの動き出しは、回転子の速さが遅く、次の回転子に移動するまでに時間が最も多くかかる（負荷が大きい）ため、固定子-S極が移動するタイミングの調整が必要となる

⇒インバータの安定化制御で固定子-S極が移動するタイミングを調整する際に、電圧も低下して電流の立ち上がりが遅れる



負荷小 (②が①に追いついている)



負荷大 (②が①から遅れている)

電動機の動作原理

- ①インバータの出力電流が電動機の固定子(電磁石)に流れて、S極が発生
- ②回転子(永久磁石)-N極が、固定子-S極へ引き込まれる
- ③固定子-S極が時計回りに次の固定子へ移動
- ④固定子-S極の移動に合わせて、回転子-N極が、固定子-S極へ引き込まれる