

ET2011



東証売買システム (arrowhead) の ディペンダビリティ実現のための方式および機能

2011年11月18日

株式会社東京証券取引所

専務取締役 最高情報責任者 (CIO)

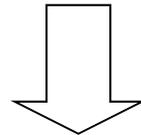
鈴木 義伯

1. arrowhead開発の背景 ～取引所の評価項目～

取引所の評価尺度にITが追加

1. 従来の評価尺度

- ・上場銘柄数と時価総額
- ・流動性(取引量(出来高と取引総額))
- ・透明性(銘柄などの状況や動きが、いかにあるか等の情報開示の程度)



2. 追加された評価尺度

- ① 取引システムの安定性・信頼性
- ② 取引システム、相場配信システムの高速性

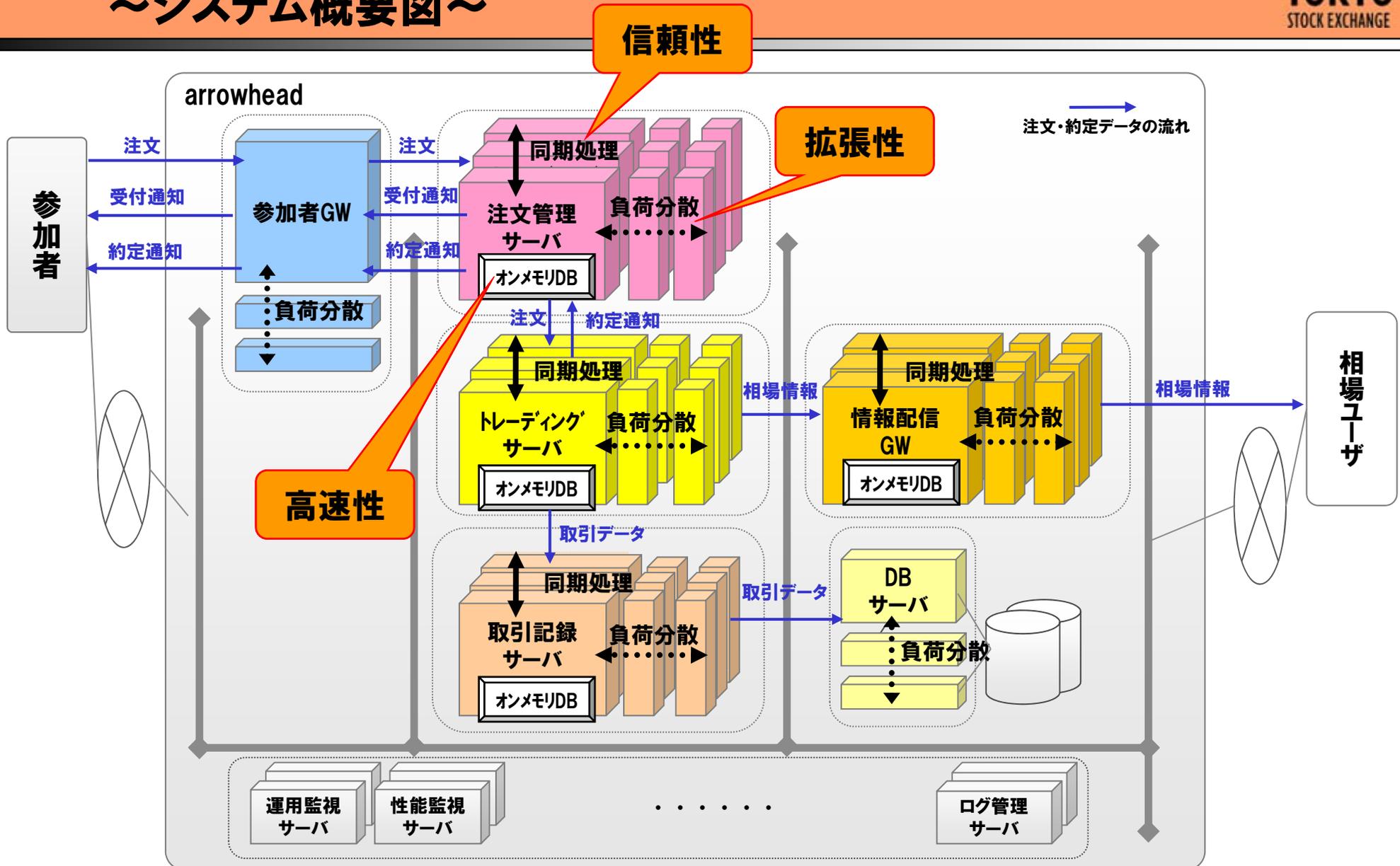
1. arrowhead開発の背景

～基本コンセプト(コアファクター)～

海外調査も踏まえ、arrowhead構築の基本的なコンセプトを取りまとめ、提示

<p>安全性／ 拡張性</p>	<ul style="list-style-type: none"> ◆あらかじめ定めた拡張基準を超えた場合、1週間程度で対応を可能とする。 〔拡張基準(想定)〕 分間注文受付件数の実績ピーク値が、分間注文受付可能件数(=システム限界値)の半分の件数を超えた場合 =分間ピーク件数の2倍のキャパシティを用意
<p>高速性</p>	<ul style="list-style-type: none"> ◆注文受付通知のレスポンスを10ミリ秒以下(2ミリ秒以下実現) ◆FLEXによる情報配信のレイテンシーを5ミリ秒以下(3ミリ秒以下実現)
<p>柔軟性</p>	<ul style="list-style-type: none"> ◆多様な商品や取引ルールの追加、変更に対応可能とする。 ◆機能のパラメータ化、アタッチメント型業務ロジック
<p>堅牢性</p>	<ul style="list-style-type: none"> ◆99.999%以上の可用性の確保(5年間で10分程度の停止時間)を目標 ◆主要な処理サーバ(トレーディングサーバなど)は三重化構成 ◆セカンダリサイト(バックアップセンタ)の構築 24時間以内復旧
<p>その他</p>	<ul style="list-style-type: none"> ◆情報配信機能強化 ◆システム運用堅確化 ◆セキュリティ強化

1. arrowhead開発の背景 ～システム概要図～



2. arrowhead (次世代株式売買システム)の取り組み



◆高速性の実現

arrowhead の高速性要件: 10ミリ秒以下の注文レスポンス⇒2ミリ秒を実現

- 最新の高速スイッチ、高速LAN(1G + 10G)の採用
- 高速レスポンスが必要な業務処理では、UDPマルチキャストをベースとした高信頼通信をサーバ間通信に採用
- 数百台の業務サーバ間を最大3段(L3-L2-L3)で接続するネットワーク構成
- 三重化同期で動作するオンメモリDBが載った3サーバ間(正、副1、副2)は同一セグメント上にL2で接続

◆信頼性の向上

arrowhead の信頼性要件: 99.999%の可用性

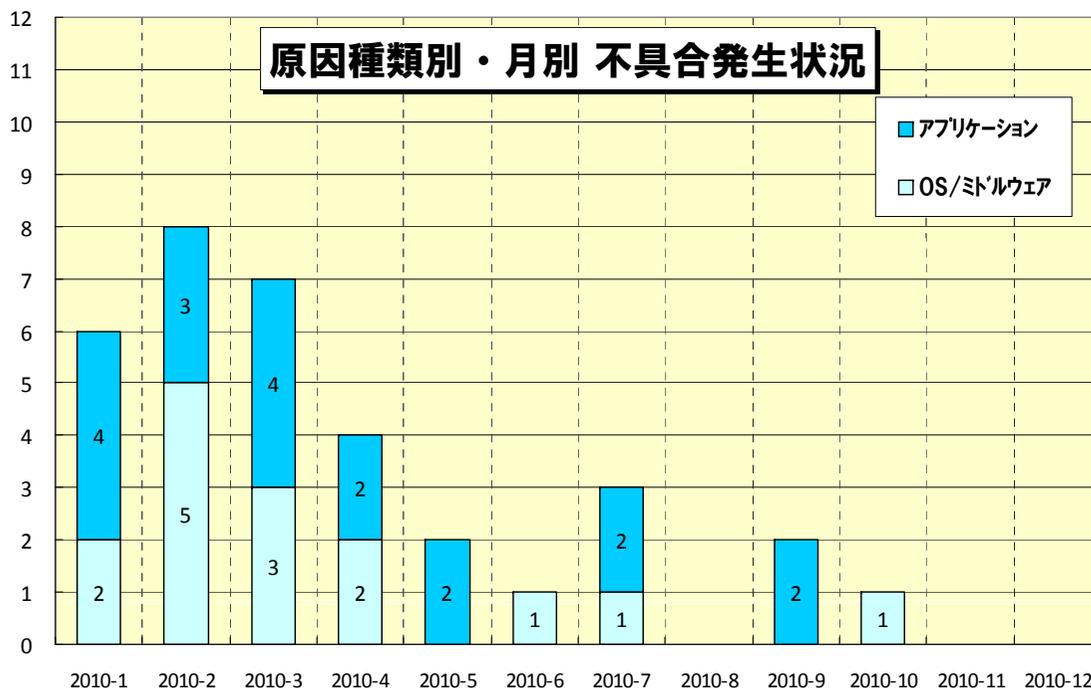
- 処理サーバ(トレーディングなど)は三重化し、信頼性確保
- すべてのサーバ間ネットワークおよびネットワーク装置を二重化
- SSL、ファイアウォール等によるネットワークセキュリティ確保、ICカード認証、ディスク暗号化、端末セキュリティ確保
- イベントコリレーション(類似メッセージの集約機能)や自動リカバリを備えた障害監視システム

◆リニアな拡張性の実現

arrowhead の拡張性要件: 5年後、10年後までの拡張性確保

- サーバ間コアネットワークを機能分割(業務コア/DBコア/運用管理コア)
 - ⇒ サーバ拡張の影響を局所化+通信の負荷を分散
 - ⇒ 接続するサーバ台数の増大に柔軟に対応可能(フィールドグレードアップ)
- 光ファイバ(10GBASE-SR)で接続可能なL2スイッチを採用
 - ⇒ 数百台のサーバを複数フロアをまたがって配置が可能
- 将来のサーバ増設、ネットワーク拡張までを考慮したアドレス体系の採用

3. arrowhead稼働後 1年の状況 ～品質状況～



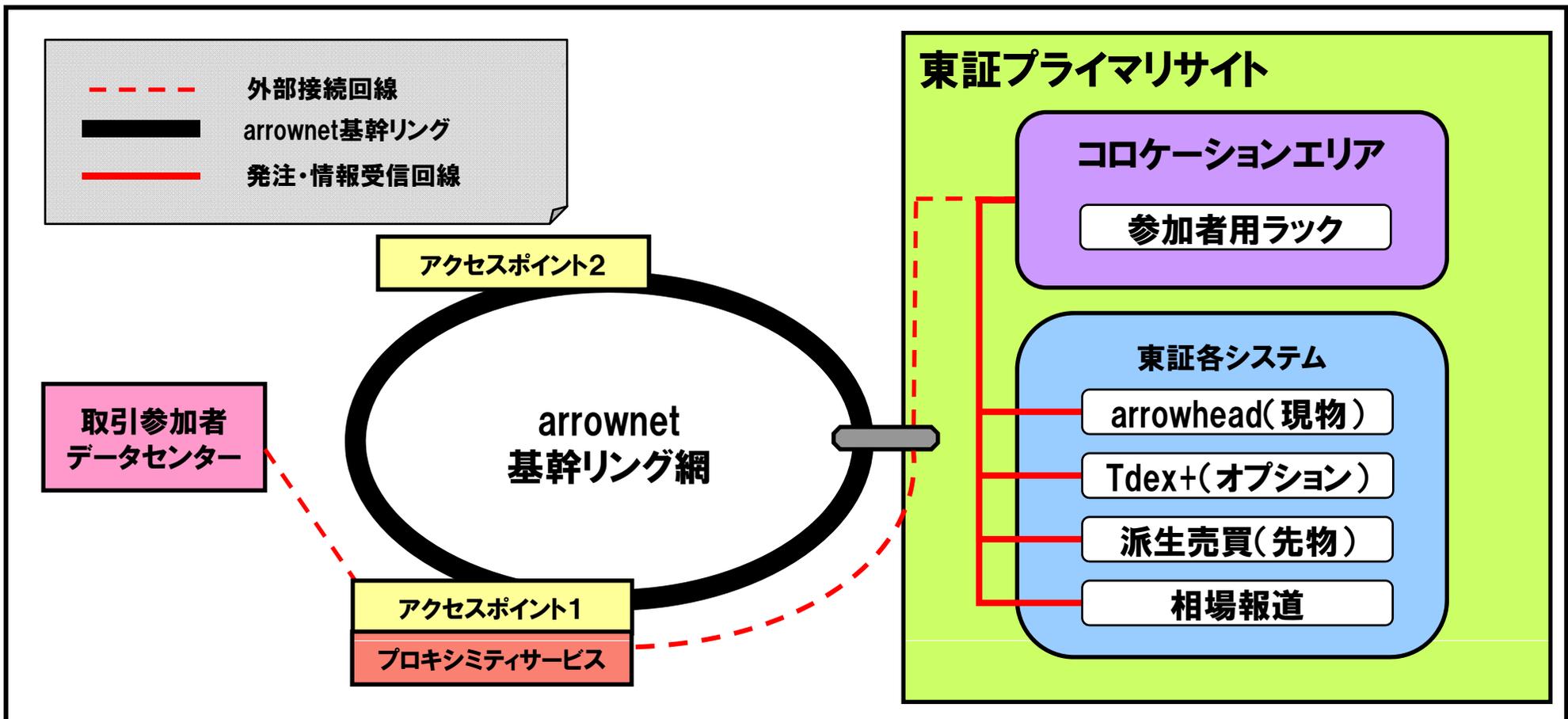
稼働後1年間のアプリバグ発生密度
0.009件/kStep
(19件/2,028kStep)

- ハード障害が発生しても、信頼性を保つための冗長構成が適切にとられているため、業務継続できている。
- OS/ミドル・アプリも含めた障害は、稼働当初に多少発生しているが、画面表示ミスなども含んでおり、システム全体としては安定してきている。また、最近では低減傾向にある。
- 「ソフトウェア開発データ白書 (IPA/SEC発行)」の金融業稼働後6ヶ月バグ密度 (0.030件/Kstep) と比較しても、良好な品質状態と言える。(稼働後6ヶ月の時点では、0.0074件/kStep)

4. コロケーションサービス(新しいビジネスモデル出現)

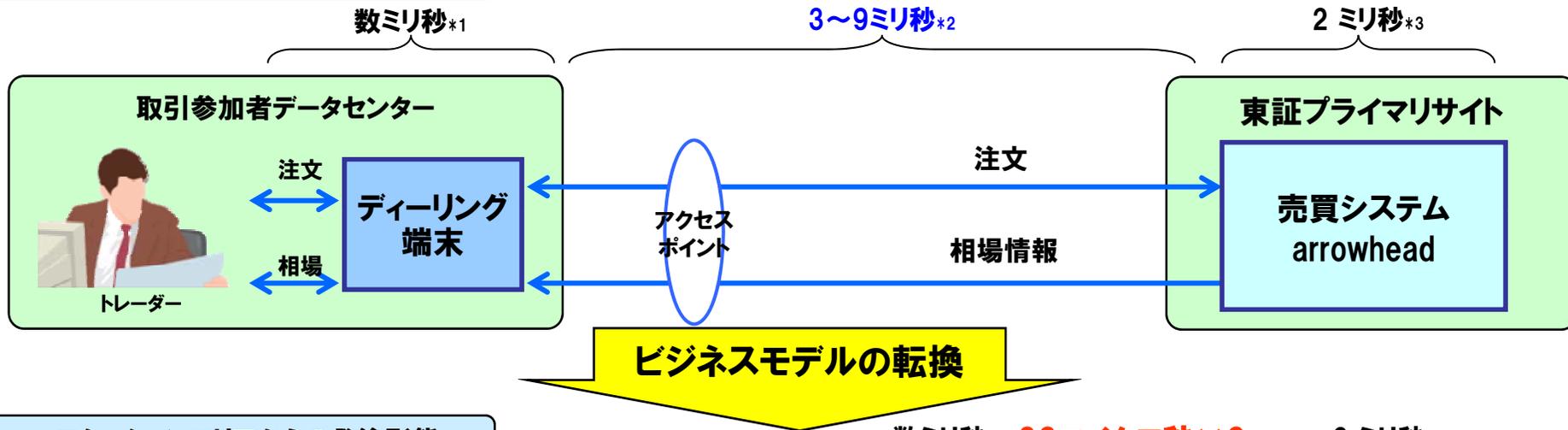
コロケーションサービスとは

取引参加者の発注サーバー等機器を東証の売買システム・相場報道システムと同じプライマリサイトにあるコロケーションエリアに設置することにより、相場情報の受信時間及び発注した注文の送信時間を極小化することで、情報配信方法の多様化や注文発注の柔軟性を高めるサービスです。

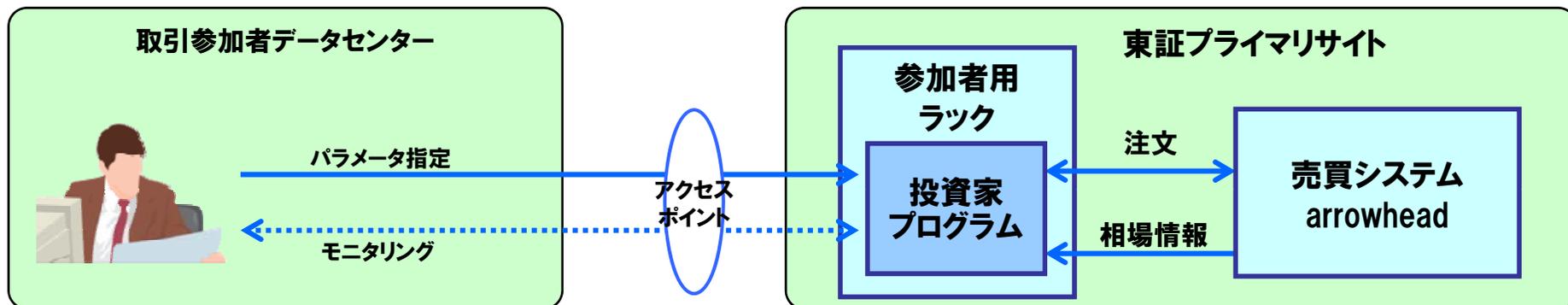


5. コロケーションによるビジネスモデルの変革

取引参加者データセンターからの発注形態



コロケーションエリアからの発注形態



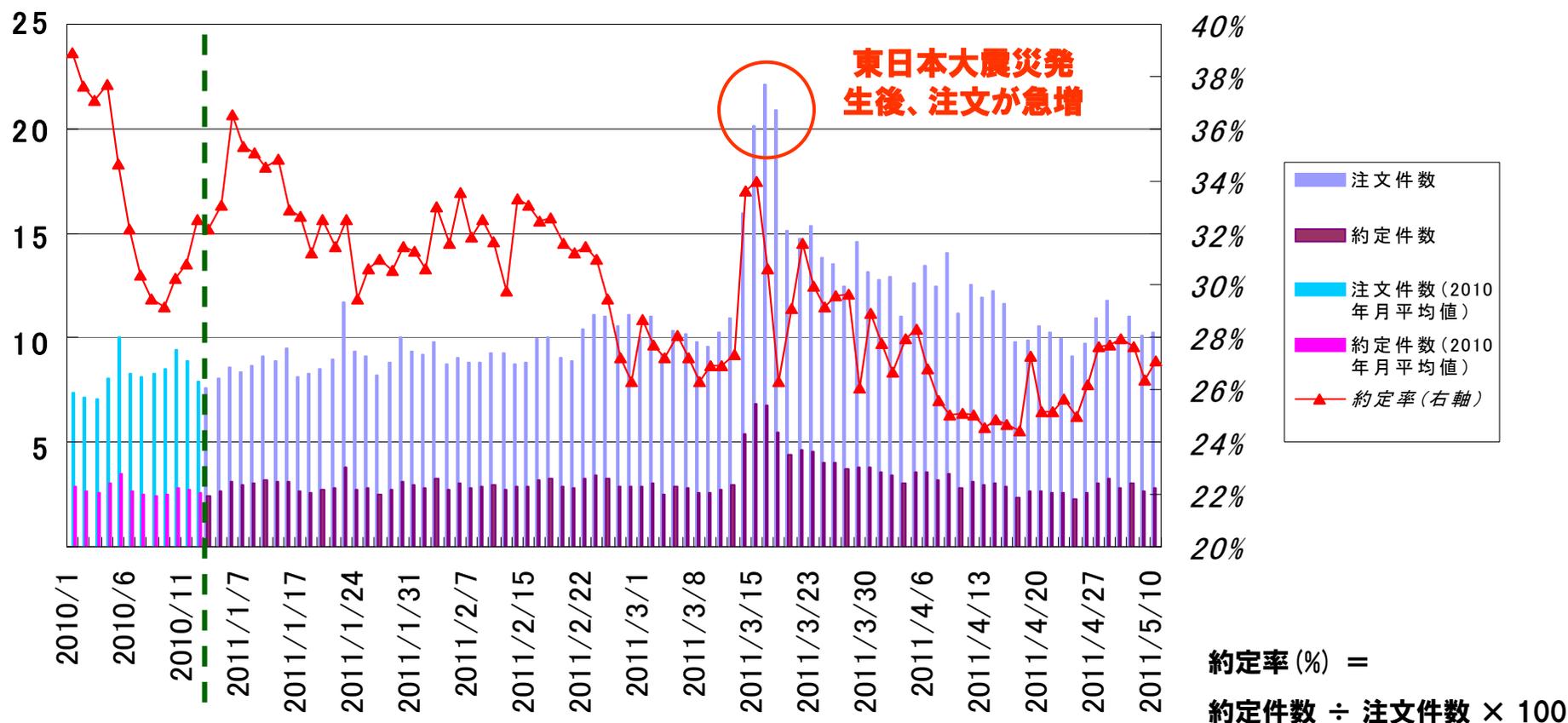
- *1 取引参加者システムに依拠する。
- *2 本番における実測値 (取引参加者のデータセンターから、プライマリサイトのセグメントルーター (arrownetと売買システムの分界点) までの往復)。ただし取引参加者のデータセンターまでの距離・キャリア等により異なる。
⇒取引参加者のデータセンターが首都圏である場合、データセンターからアクセスポイントまでの通信: 2~8ミリ秒程度、アクセスポイントからarrowheadまでの通信(往復): 1ミリ秒程度。
- *3 本番 (ザラバ) における実測値 (平均)。
- *4 本番における実測値 (平均) (コロケーションエリアの売買システム接続用集約L2SWから、売買システムとのセグメントL2SW (arrownetと売買システムの分界点) までの往復)。

6. arrowheadの稼働状況

(1) 注文件数の推移



(百万件) 注文件数・約定件数・約定率の推移 (arrowhead稼働以降)



■ 東日本大震災発生後、3月16日に最多の注文件数(2208万件)を記録
 なお、3月15日には売買高59.5億株を記録

■ arrowheadの注文件数のキャパシティは4,600万件/日(2011年5月現在)

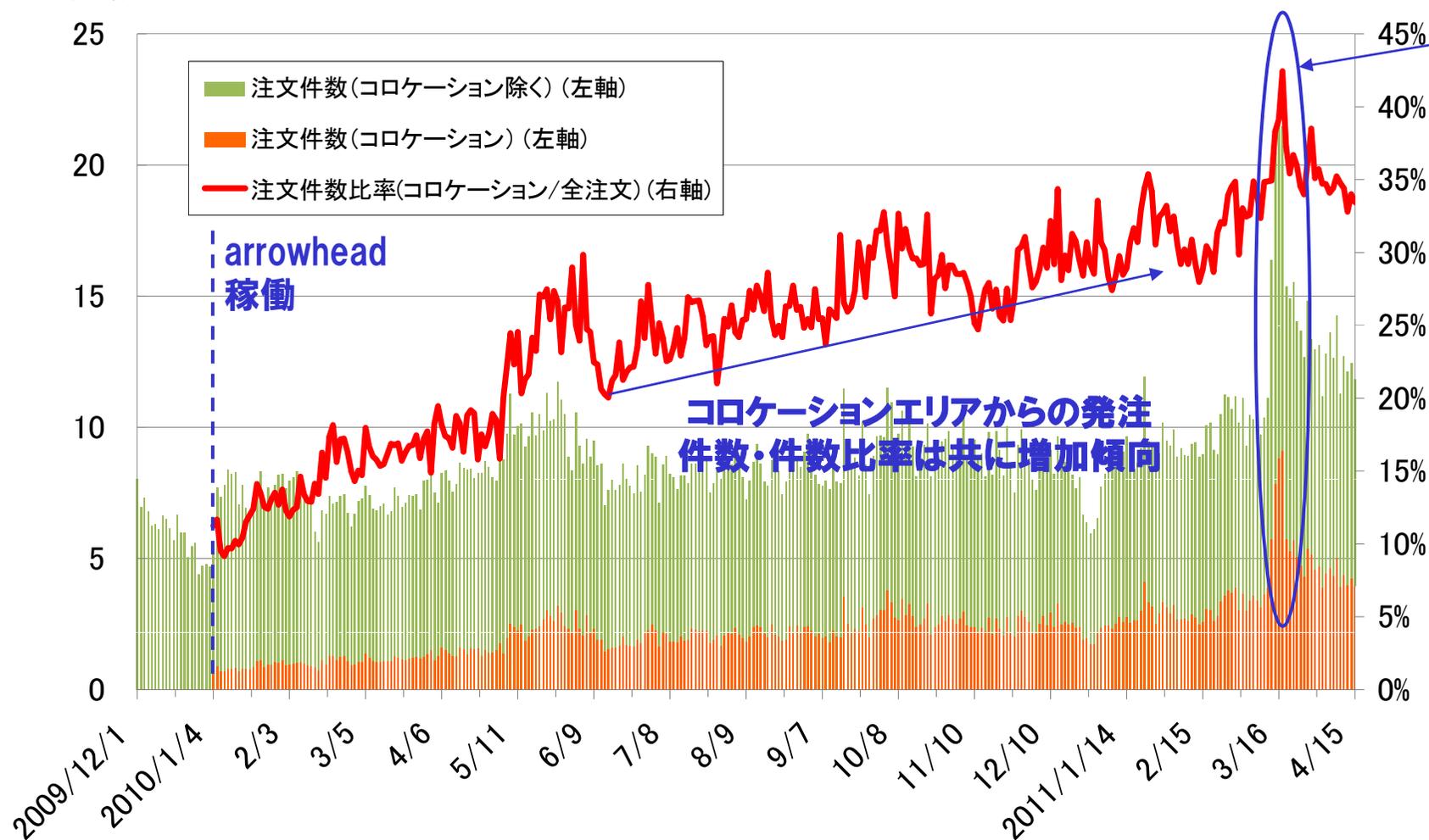
6. arrowheadの稼働状況

(2) コロケーションエリアからの注文件数の増加

コロケーション・非コロケーションの注文件数とコロケーション注文件数の割合（現物）

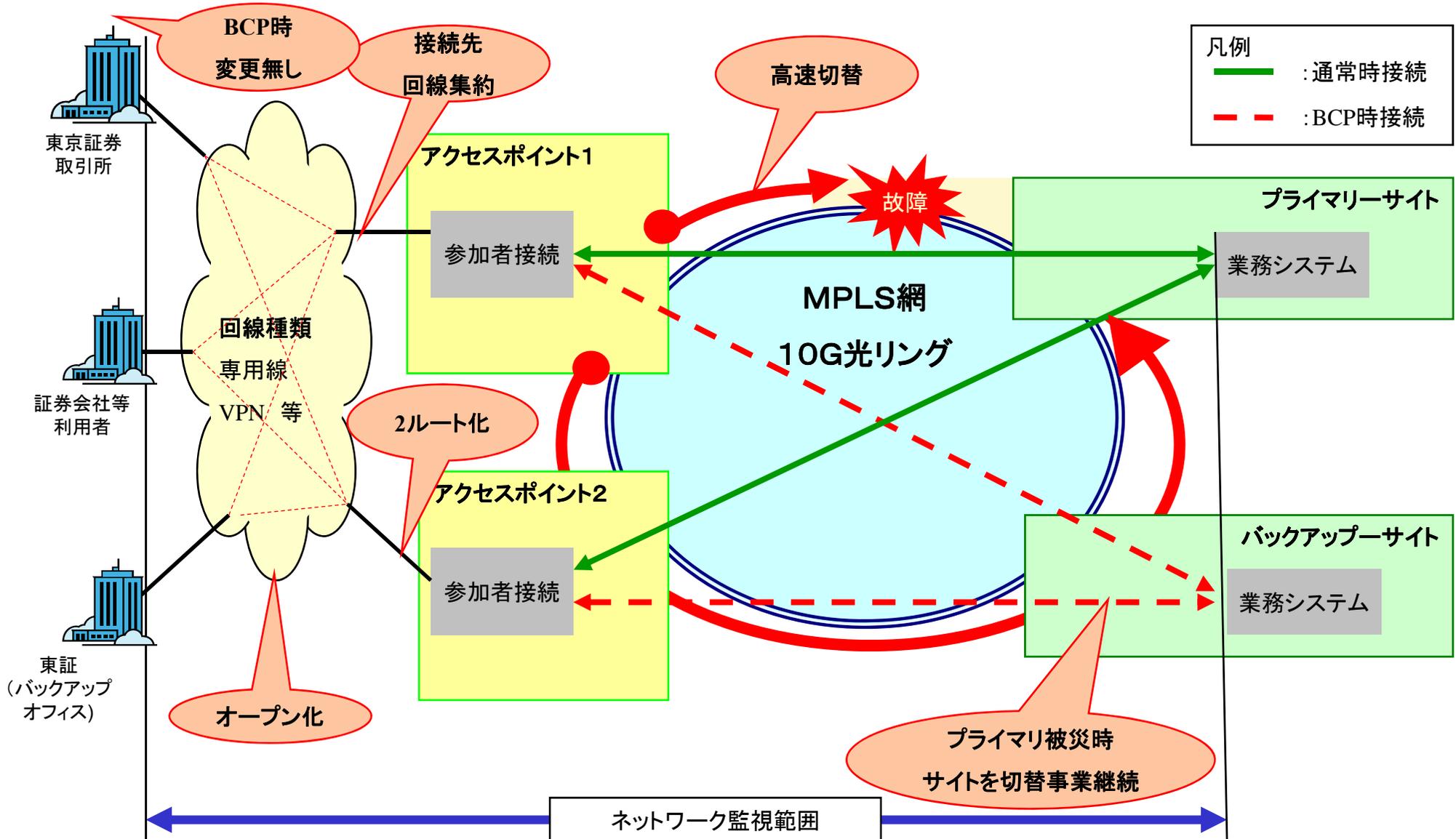
注文件数
(百万件)

(2009/12/1 - 2011/4/15)

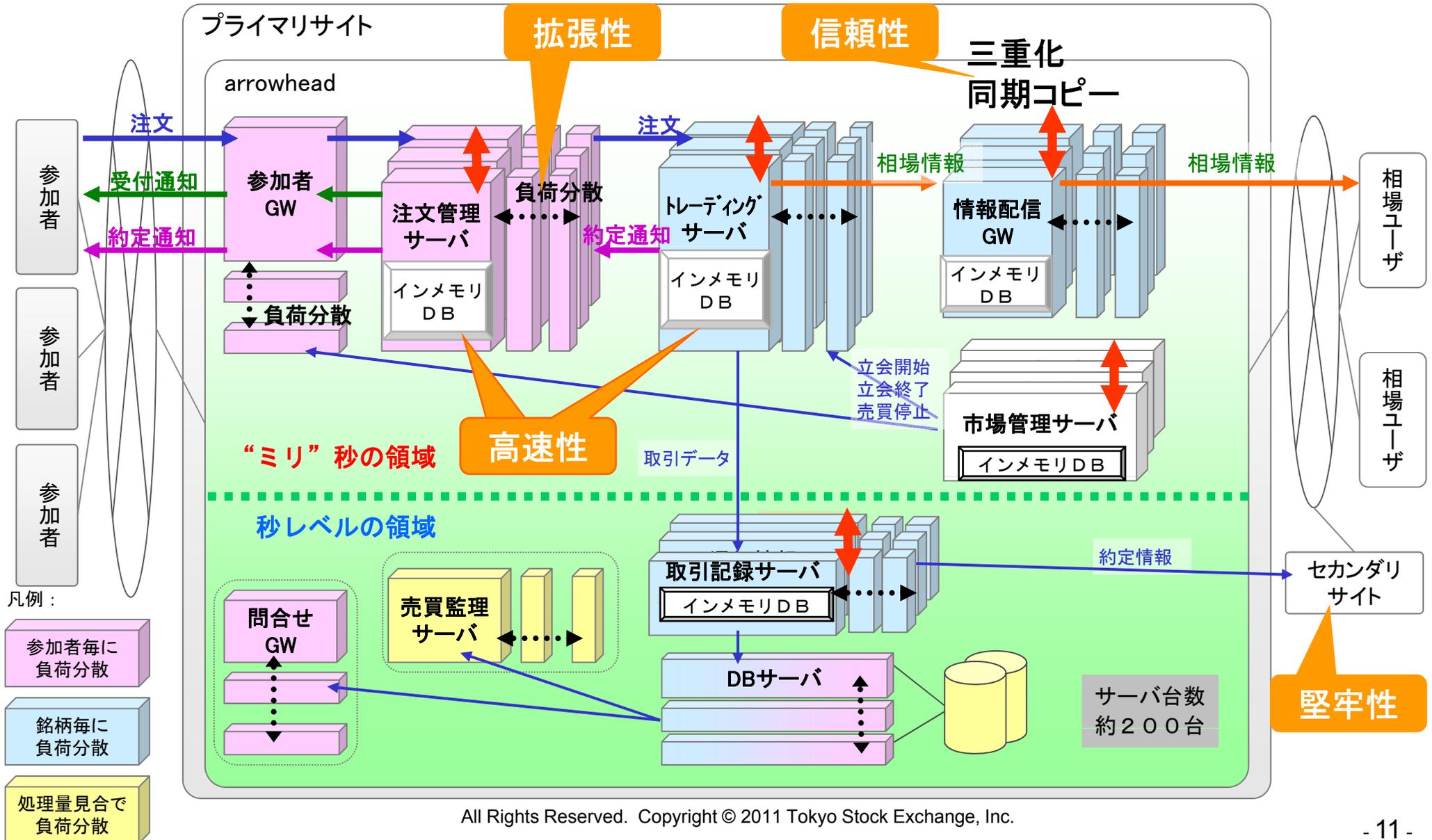


※コロケーション注文件数比率 = 注文件数(コロケーション) ÷ 総注文件数

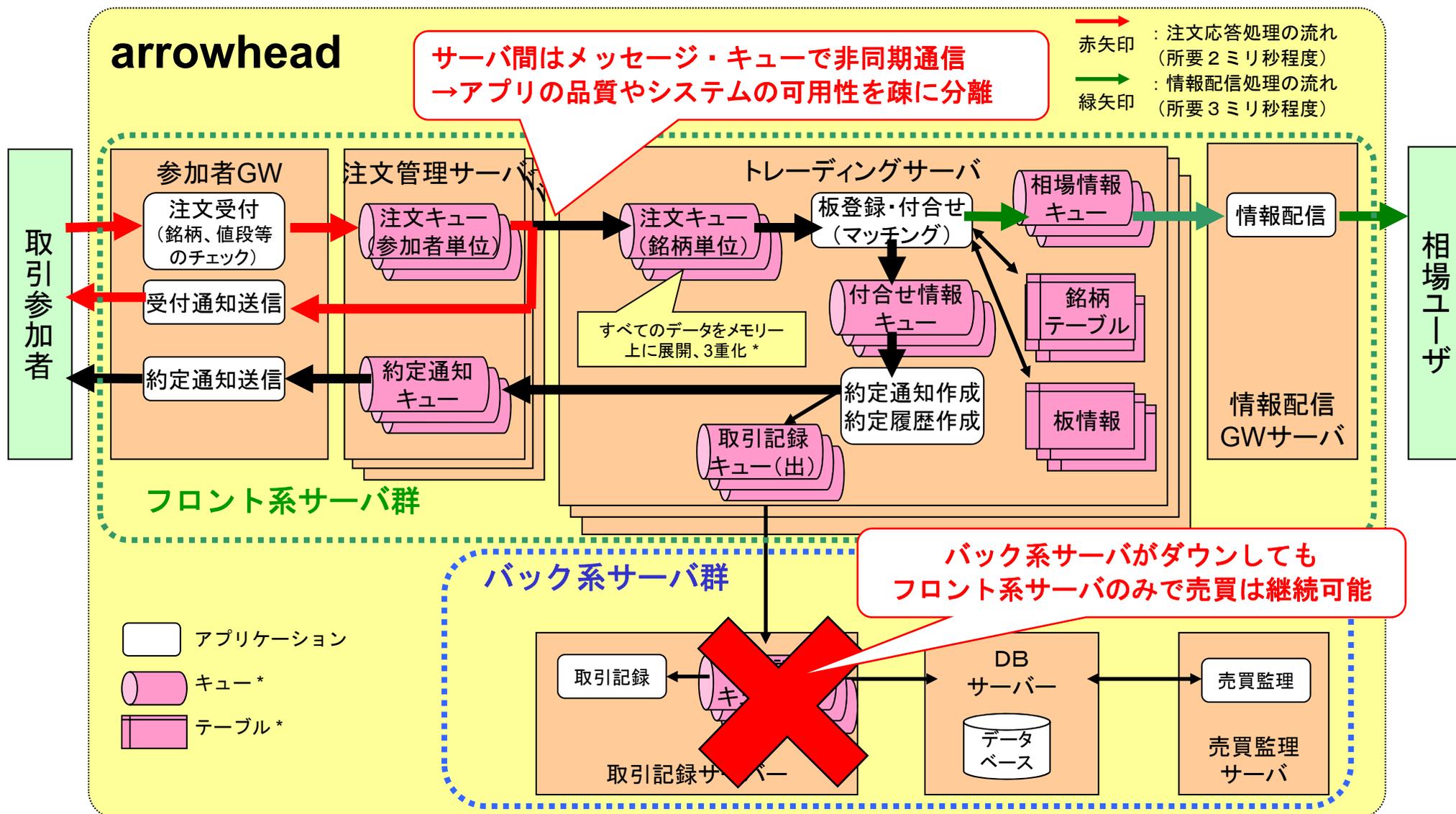
7. “arrownet”による通信堅牢性確保



8. システム概要図 <サーバ3台によるデータ同期>



9. 処理プロセス概要図 <売買業務の障害時継続性>

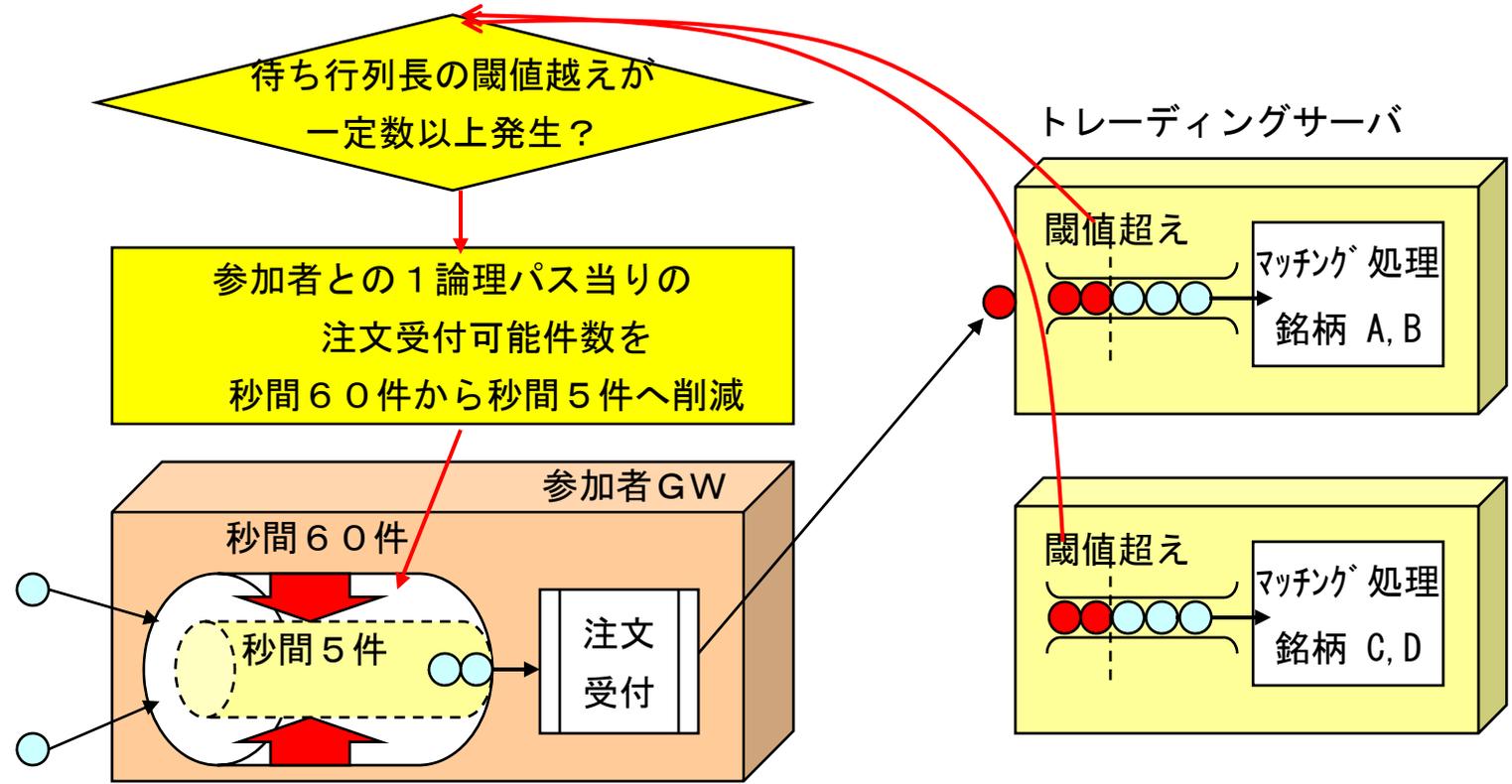


10. キャパシティを超える注文急増時のトラフィック制御

ただし、発動した実績はありません



- ◆各サーバの入り口において注文電文の処理待ち行列をリアルタイムにモニタリング。
- ◆システム処理能力を一時的に超過して注文が急増した場合に、注文電文の待ち行列長が閾値を超えるとアラームを出力。
- ◆一定以上の数の待ち行列で閾値を超えると、自動的に参加者と接続する論理パス当りの秒間注文受付可能件数を絞り込み。

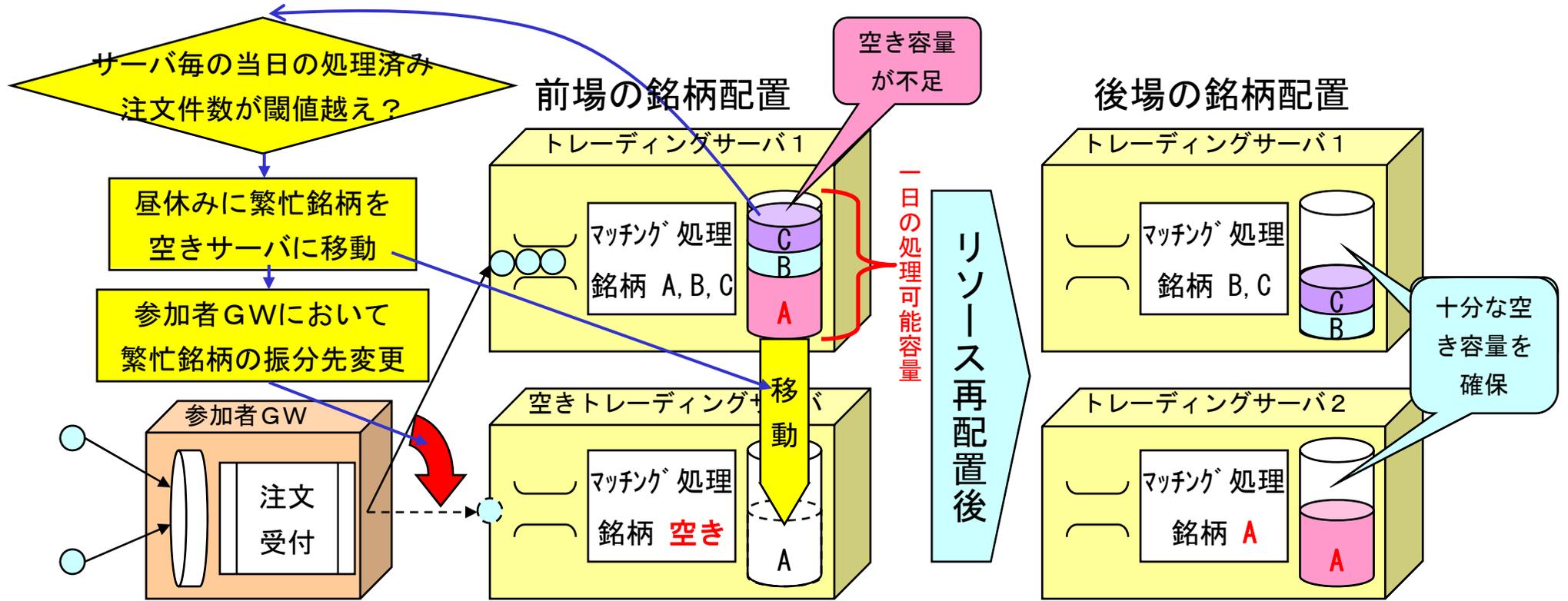


11. 特定銘柄へ注文集中した場合のリソース再配置

ただし、発動した実績はありません



- ◆ 各トレーディングサーバにおける、当日の累積注文件数をリアルタイムにモニタリング。
- ◆ 特定銘柄に注文が集中する等により、前場立会終了の段階で、対象のトレーディングサーバの累積注文件数が閾値（1台当りの一日の処理容量の40%など）を超えると、後場立会で当該サーバが容量オーバーとなる可能性あり。
- ◆ 昼の取引休止時間に注文が集中した銘柄を空きサーバに再配置し、後場に向けて必要な空き容量を確保。



12. 売買制度上のディペンダビリティ【全体概要】

大量注文

第1. 未然防止

制度面

・一定の数量又は金額以上の発注制限(取引参加者における注文管理体制に関する規則)

ハード面

- ・上場株式数の30%超の注文 → 受付×
- ・上場株式数の5%超30%以下の注文 → アラーム・取引参加者(証券会社)に確認

第2. 急な価格変動の抑制

値動き

制度面

<3つの制度>

- (1) 制限値幅 → 一日の価格変動を一定の範囲に制限
- (2) 特別気配 → 連続的な約定以外による瞬時の価格変動を抑制
- (3) 連続約定気配 → 連続的な約定による瞬時の価格変動を抑制

第3. 約定取消し

誤発注

制度面

- (1) 上場株式数の20%超の売買成立
- (2) 当該売買の決済が極めて困難であり、当取引所の市場が混乱するおそれがあると当取引所が認める場合
→ 取消し

13. 急な価格変動の抑制(3つの制度)



一日の価格変動を抑制

(1) 制限値幅

1日の価格変動を、基準値段（前日の終値等）から一定範囲（価格帯により約20%～25%）に制限する値幅（次ページ参照）。

制限値幅を超えた値段で注文を発注することもできないし、約定することもない。

瞬時の価格変動を抑制

(2) 特別気配

更新値幅を超えた価格で約定が成立する場合に、瞬時の価格変動を周知し、価格変動を減殺する反対注文を呼び込むために表示する気配

※更新値幅とは、当該値幅の範囲を超える場合には即時に約定しないよう、直前の株価等を基準として決められる値幅（次ページ参照）。

(3) 連続約定気配

更新値幅×2を超過するまで連続的な約定が生じる場合に、瞬時の価格変動を周知し、価格変動を減殺する反対注文を呼び込むために、「直前の約定価格±更新値幅×2」の価格に表示する気配

(1) 制限値幅と更新値幅



制限値幅=更新値幅×10倍(基準値段が100円未満の場合を除く。)

基準値段				制限値幅 (±)	更新値幅 (±)	基準値段				制限値幅 (±)	更新値幅 (±)	
100円		未満		30円	5円	10,000円		以上 15,000円		未満	3,000円	300円
100円	以上	200円	〃	50円	5円	15,000円	〃	20,000円	〃		4,000円	400円
200円	〃	500円	〃	80円	8円	20,000円	〃	30,000円	〃		5,000円	500円
500円	〃	700円	〃	100円	10円	30,000円	〃	50,000円	〃		7,000円	700円
700円	〃	1,000円	〃	150円	15円	50,000円	〃	70,000円	〃		10,000円	1,000円
1,000円	〃	1,500円	〃	300円	30円	70,000円	〃	100,000円	〃		15,000円	1,500円
1,500円	〃	2,000円	〃	400円	40円	100,000円	〃	150,000円	〃		30,000円	3,000円
2,000円	〃	3,000円	〃	500円	50円	150,000円	〃	200,000円	〃		40,000円	4,000円
3,000円	〃	5,000円	〃	700円	70円	200,000円	〃	300,000円	〃		50,000円	5,000円
5,000円	〃	7,000円	〃	1,000円	100円	300,000円	〃	500,000円	〃		70,000円	7,000円
7,000円	〃	10,000円	〃	1,500円	150円	500,000円	〃	700,000円	〃		100,000円	10,000円

※基準値段が700,000円以上の場合については、割愛。

(2) 特別気配

売数量	値段	買数量
	成行	10
62	636	
27	635	
19	# 630	
	601	
	<u>600</u>	10
	595	33
	592	41

直前の約定価格
→更新値幅は±10円

次の約定価格

①



売数量	値段	買数量
	成行	10
19	# 630	
	力 620	
	力 610	
	601	
	<u>600</u>	10
	595	33
	592	41

3分間表示

3分間表示

④

③

②

※呼値は1円

- ①直前の約定価格が600円の時、上記の板の状況で、買い成行注文10株が発注された。この買い成行注文10株は、最も安い売り指値注文である630円の10株と合致するが、630円という約定価格は、直前の約定価格600円から30円離れており、更新値幅の10円を超えているので、630円で即時に約定することはない。
- ②まず、直前の約定価格から更新値幅である10円分離れた値段の610円に買特別気配を表示し、「610円より高いところに買い注文がありますが、売り注文を出していませんか」と反対注文を呼び込む。
- ③それでも売り注文が入らず、その特別気配値段で約定しない場合には、3分後に、10円分(更新値幅と同じ。)離れた値段の620円に買特別気配を表示する。
- ④ 620円に特別気配表示後は、630円は、現在の買特別気配値段620円から更新値幅である±10円の範囲内に入るのので、620円に買特別気配表示をしてから3分後に、630円で約定する。

【参考】始値及びザラ場中の株価の決定方法

●始値の決定方法→板寄せ方式

売数量	① 値段	買数量
600 ^② 200	成行	400 ^② 0
800	602	100
2,000 ^④	601	700
400 → 0 ^⑤	600	1,000 → 600
200	599	800
400	598	3,000

③計800株 (Blue box pointing to 2,000 and 400)

計800株 (Red box pointing to 2,000 and 400)

始値 (Green box pointing to 600)

●ザラ場中の株価の決定方法→ザラバ方式

売数量	値段	買数量
	成行	200 → 0
800	602 ^②	
2,000 → 1,800	601	
	600	
	599 ^④	600 → 0
	598	800
1,000 → 400	598	3,000

株価動く (Green speech bubble pointing to 601 and 600)

③ (Blue arrow pointing to 1,000 → 400)

板寄せ方式とは、以下のaからcの条件を満たす値段で約定価格(始値)を決定する方式

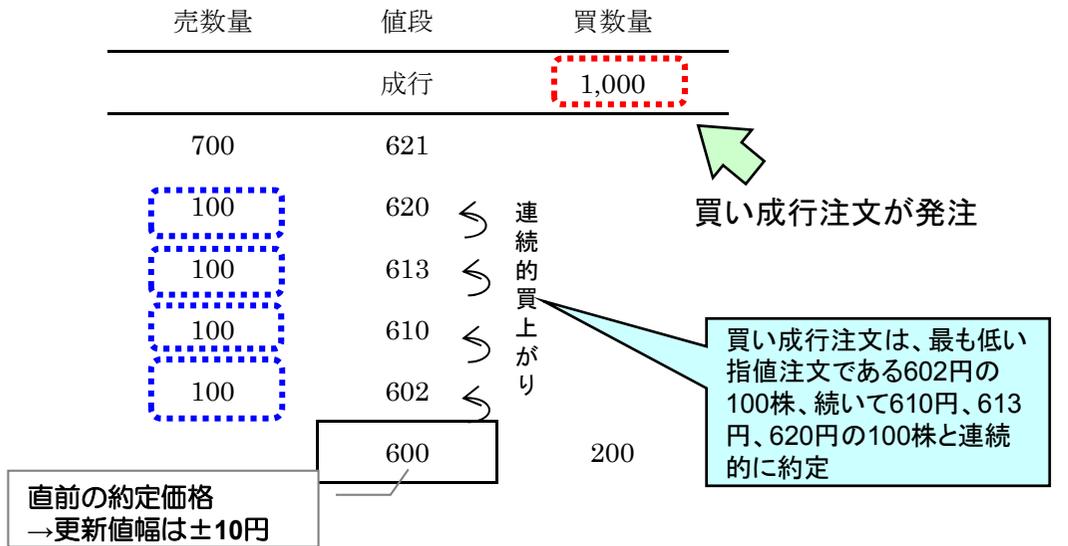
- 成行注文をすべて約定させる。
 - 約定価格より高い買い指値注文及び安い売り指値注文をすべて約定させる。
 - 約定価格における売り注文又は買い注文のいずれか一方をすべて約定させる。
 - ① 売り成行注文600株のうち400株と買い成行注文400株とを約定させる。
 - ② この時点で買い成行注文はすべて約定し、売り成行注文200株が残る。
 - ③ 残った売り成行注文200株と約定価格600円より安い売り指値注文600株(200株+400株)を合計すると800株になる。
 - ④ ③の800株と約定価格600円より高い買い指値注文800株(100株+700株)とを約定させる。
 - ⑤ 約定価格600円における売り注文400株と買い注文1000株のうち400株とを約定させる。
- ①～⑤により、成行注文(売り成行注文600株と買い成行注文400株)はすべて約定するのでaの条件を満たす。約定価格600円より高い買い指値注文800株と安い売り指値注文600株もすべて約定するのでbの条件も満たす。約定価格600円における売り注文400株もすべて約定するのでcの条件も満たす。したがって、aからcの条件を満たす600円が始値。

ザラ場方式とは、新たに発注された買い注文(又は売り注文)の値段とすでに発注されている売り注文(又は買い注文)の値段とが合致した値段を約定価格(株価)とする方式

- ① 買い成行き注文が新たに200株発注された。
 - ② この新たに発注された買い成行注文200株と、すでに発注されている最も安い601円の売り注文2,000株のうち200株とが合致し、601円で約定(601円が株価)。
 - ③ 次に新たに598円の売り注文が1000株発注された。
 - ④ この新たに発注された売り注文1,000株のうち600株と、すでに発注されている最も高い600円の買い注文600株とが合致し、600円で約定(600円が株価)。
- このように始値が決定後は、注文が発注される都度、株価が動く。

※ザラ場とは、始値決定後から終値決定前までの間のこと

(3)連続約定気配

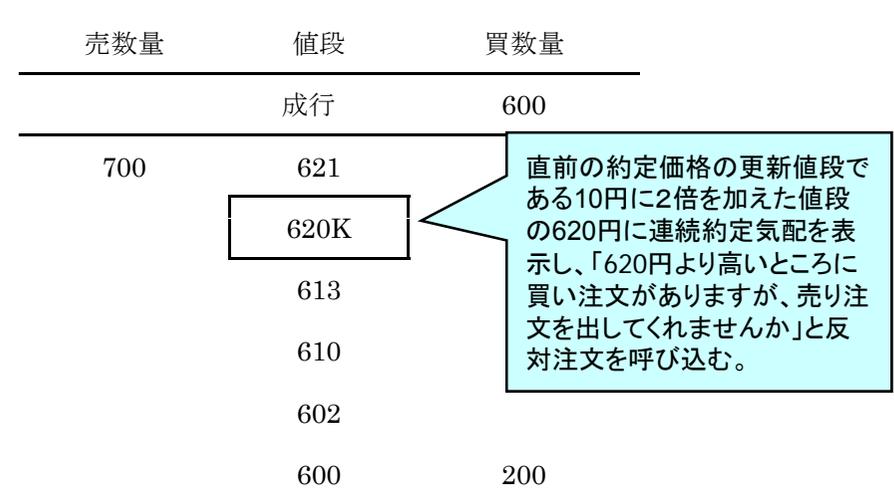
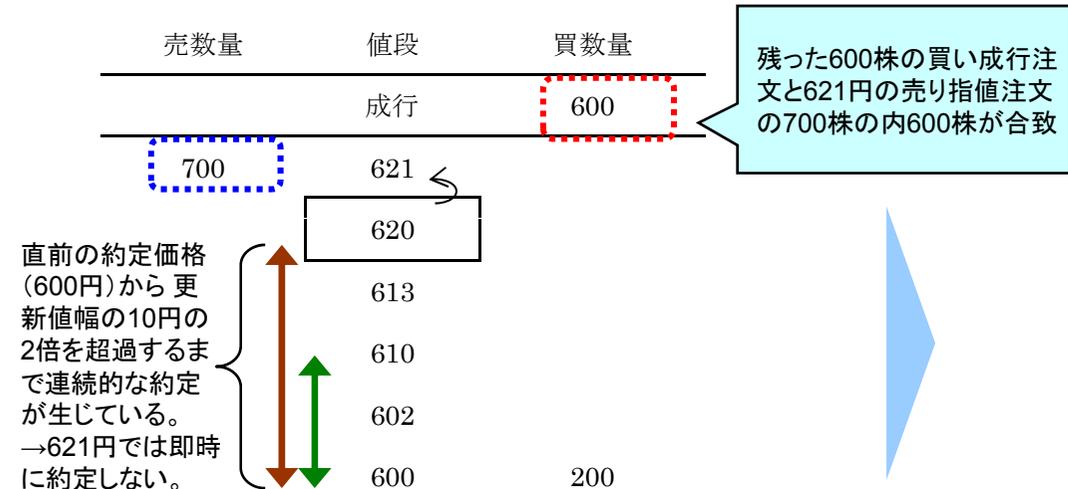


板寄せ方式

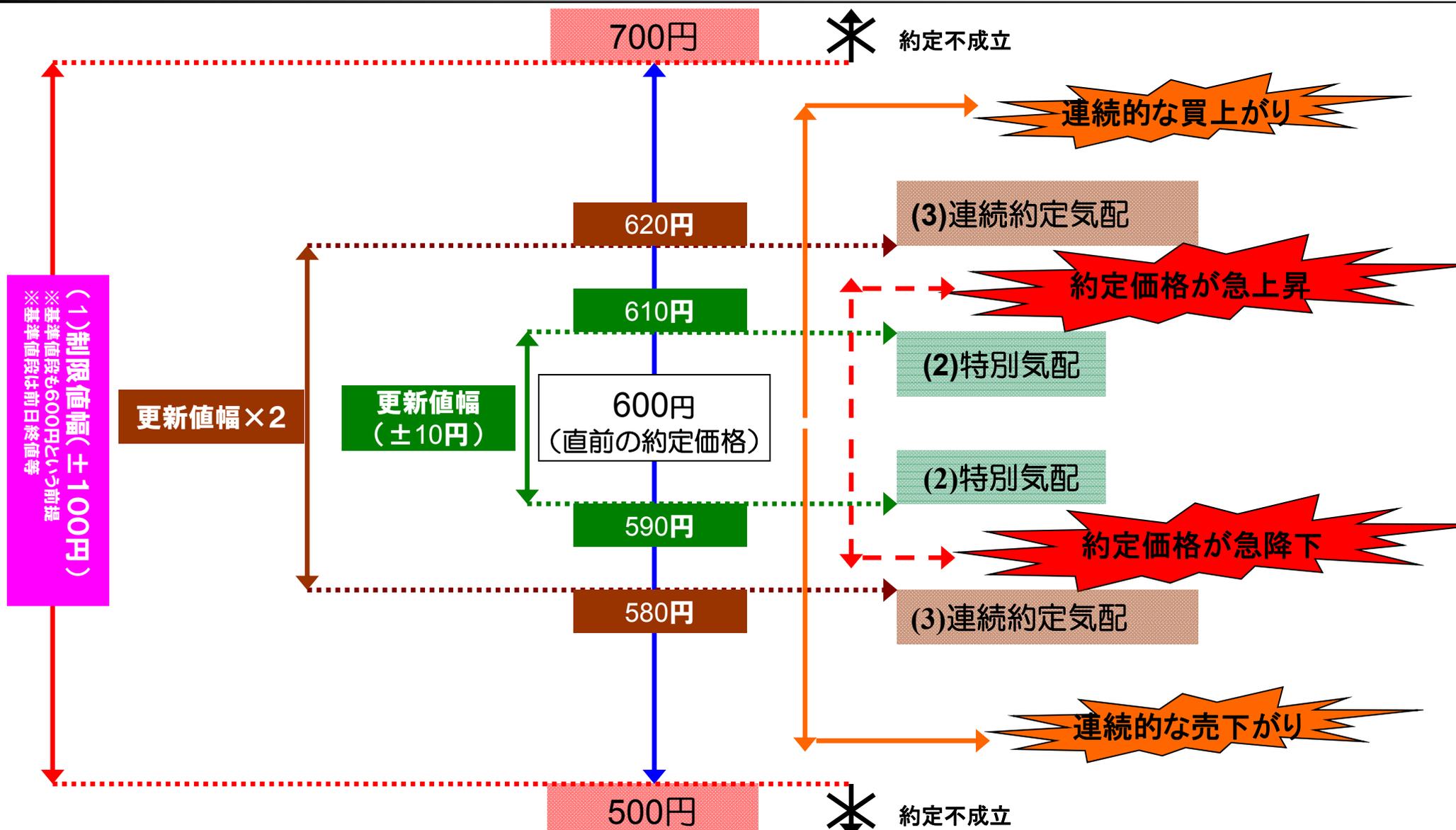
- 成行注文をすべて約定させる。
- 約定価格より高い買い指値注文及び安い売り指値注文をすべて約定させる。
- 約定価格における売り注文又は買い注文のいずれか一方をすべて約定させる。

→以下の場合だと、買い成行注文600株を621円の売り指値注文の700株のうち600株と合致させてすべて約定させるので、621円で約定が成立

連続約定気配を表示してから1分経過後、板寄せ方式で約定

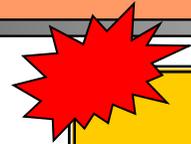


(4) 3つの制度を一枚の図にまとめると...



14. 約定取消し

○一度約定が成立した取引は、原則、取り消されるべきではない。
○例外的に、誤発注による売買で、円滑な決済の履行が極めて困難になる等、市場が著しく混乱すると考えられる場合に限り、約定取消しルールを適用。



1. 誤発注の発生

東証において注文内容を証券会社に確認
⇒誤発注の場合は2. 付合せの一時留保

3. 売買停止

(原則、誤注文により
10%超の売買成立時)

売買停止

売買停止なし

4. 約定取消し申請

(原則、誤注文により20%
超の売買成立時、売買停止の
60分以内に発注証券会社より申請可)

発注証券会社から
約定取消し申請あり

発注証券会社から
約定取消し申請なし

決済不履行の可能性・市場への影響を勘案し、当取引所にて5. 約定取消しの検討

6. 約定取消しの有無の決定

(当取引所が決済不履行の
可能性が高いと判断した場合
に限り約定取消しを決定)

約定取消しを決定

約定取消し不実施を決定

約定取消しの有無について公表

7. 約定取消しの有無の決定・ 公表後の売買

終日売買停止

30分経過後売買再開

15. 東証市場のディペンダビリティの方向感

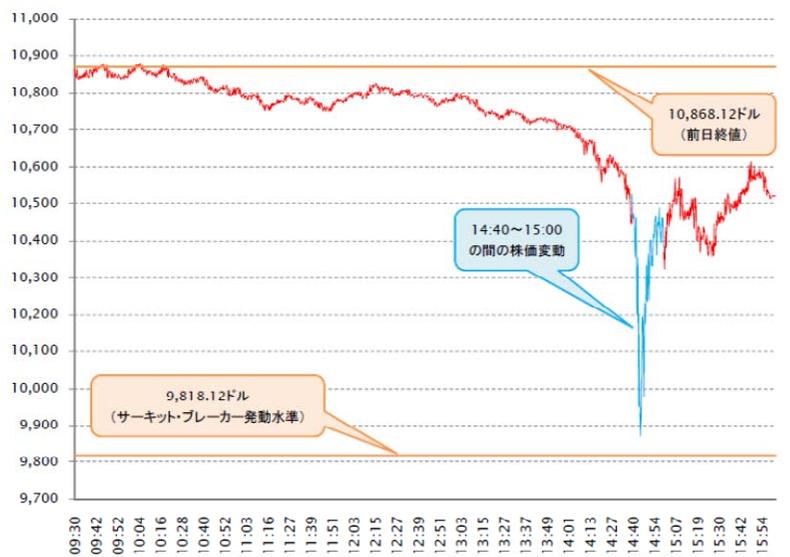


東証市場は、IT市場であり、その高度化とグローバル化は進化し続けている。その進化を避けることは市場撤退となる。

我々は金融インフラである株式市場を運営する者として、システムの安定性を確実に実現することに加え、取引ルールや取引仕組みのスタビライザー機能とを組み合わせ、ディペンダビリティを確保し続けることで、社会の信頼に答えていきたい。

16. 米国のフラッシュ・クラッシュについて

図表1:ダウ平均株価の日中足(2010年5月6日)



出所: Bloomberg のデータをもとに筆者作成。

図表2: NY市場の主要指標

	5月6日終値	前日比	
ダウ平均株価(ドル)	10,520.32	-347.80	-3.20%
S&P 500インデックス(ポイント)	1,128.15	-37.75	-3.24%
ナスダック総合指数(ポイント)	2,319.64	-82.65	-3.44%
T-Note (%)	3.396	-0.145	--
為替(円/ドル)	90.58	-3.23	-3.44%
原油(WTI期近,ドル)	77.11	-2.86	-3.58%
NYSE Euronext株価(ドル)	29.87	-1.06	-3.43%
CME日経平均先物(円)	10195	-475	-4.45%

出所: Bloomberg

【Flash Crash に関するSECとCFTC共同レポートの要旨】

Flash Crashの直接の引き金は、2010年5月6日、欧州ソブリン・リスクの顕在化が懸念されるなど市場が不安定な中、特定参加者が巨額(41億ドル規模)のアルゴリズム取引を行い、先物市場に売り圧力をかけたことであった。

その後、当該アルゴリズム取引に同調する形でHFTsが売り圧力をさらにかける中、市場間裁定(E-Miniを買って、SPYやS&P 500指数構成銘柄を売るという形の裁定取引)を行う投資家が売りのみを集中的に行ったため、先物市場から現物市場へ売り圧力の影響が波及していった。

E-MiniやSPYといった指数商品が反発に転じた後も、特にリテール顧客からの注文(ストップ・ロス・オーダーなど)が多い個別銘柄やETFsでは、十分な流動性が集まり取引価格が適切な水準に戻るまでに時間が掛かったため、結果として多くの取引がブレイク(取消)されるに至った。