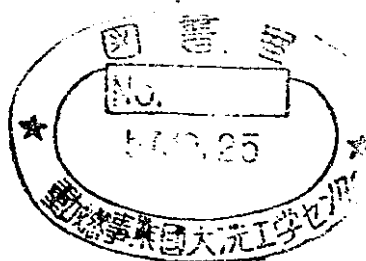


分 置

高速増殖原型炉もんじゅ仮想的炉心崩壊事故解析(Ⅰ)

—SAS3D計算コードによるHCDA解析—

1982年3月



動力炉・核燃料開発事業団

複製又はこの資料の入手については、下記にお問い合わせください。

〒311-13 茨城県東茨城郡大洗町成田町4002

動力炉・核燃料開発事業団

大洗工学センター システム開発推進部・技術管理室

Enquires about copyright and reproduction should be addressed to: Technology Management Section O-arai Engineering Center, Power Reactor and Nuclear Fuel Development Corporation 4002 Narita-cho, O-arai-machi, Higashi-Ibaraki, Ibaraki-ken, 311-13, Japan

動力炉・核燃料開発事業団 (Power Reactor and Nuclear Fuel Development Corporation)

目 次

4. 初装荷炉心の起因事故解析	4- 1
4.1 炉心のモデル化	4- 1
4.1.1. SAS チャンネル構成	4- 1
4.1.2 初期定常状態	4- 5
4.2 炉心流量減少事故 (LOF)	4- 59
4.2.1 概 要	4- 59
4.2.2 基準ケースの解析	4- 61
4.2.3 パラメータ解析	4- 69
4.2.4 結 論	4- 79
4.3 反応度挿入事故 (TOP)	4-183
4.3.1 概 要	4-183
4.3.2 基準ケースの解析	4-185
4.3.3 パラメータ解析	4-189
4.3.4 結 論	4-195

List of Tables

Section 4

Table 4.1-1	SAS3D channel average quantities for BOIC steady state
Table 4.1-2	Doppler coefficients by SAS3D channel for BOIC
Table 4.1-3	Fuel reactivity worth by channel for BOIC
Table 4.1-4	Void reactivity worth by channel for BOIC
Table 4.1-5	Stainless steel worth by channel for BOIC
Table 4.1-6	Maximum temperatures of fuel, cladding, and coolant for BOIC steady state
Table 4.1-7	Gap conductance by SAS3D channel for BOIC steady state
Table 4.1-8	SAS3D input list for Case LF.RP.C2107
Table 4.2-1	Summary table of initiating phase for BOIC LOF based on SAS3D
Table 4.2-2	Event sequence for BOIC LOF (LF.BE.C2100)
Table 4.2-3	Event sequence for BOIC LOF (LF.EXNRC.C2108)
Table 4.2-4	Event sequence for BOIC LOF (LF.RP.C2107)
Table 4.2-5	Event sequence for BOIC LOF (LF.SDFRIC.SLP.C2112)
Table 4.2-6	Event sequence for BOIC LOF (LF.NSS.FCI25.CNT.C2110)
Table 4.2-7	Event sequence for BOIC LOF (LF.BURST.FCI.C2113)
Table 4.2-8	Event sequence for BOIC LOF (LF.GAPCON.C2109)
Table 4.2-9	Maximum fuel temperature of steady state for BOIC Case GAPCON
Table 4.3-1	Summary table of initiating phase for BOIC TOP based on SAS3D
Table 4.3-2	Event sequence for BOIC TOP (TP.BE.C3100)
Table 4.3-3	Event sequence for BOIC TOP (TP.EXNRC.C3103)
Table 4.3-4	Event sequence for BOIC TOP (TP.RP.C3101)
Table 4.3-5	Event sequence for BOIC TOP (TP.LRIP.FCI.C3106)
Table 4.3-6	Event sequence for BOIC TOP (TP.LRAD.FCI.C3107)
Table 4.3-7	Event sequence for BOIC TOP (TP.FCI75.C3105)
Table 4.3-8	Event sequence for BOIC TOP (TP.GAPCON.C3104)

List of Figures

Section 4

- Fig. 4.1-1 Fuel assembly characteristics for BOIC steady state
- Fig. 4.1-2 Normalized linear power by channel for BOIC
- Fig. 4.1-3 Normalized Doppler coefficient by channel for BOIC
- Fig. 4.1-4 Fuel reactivity worth by channel for BOIC
- Fig. 4.1-5 Coolant reactivity worth by channel for BOIC
- Fig. 4.1-6 Steel reactivity worth (cladding and wrapping wire) by channel for BOIC
- Fig. 4.1-7 Coolant outlet temperature as a function of power to flow ratio of SAS3D channel for BOIC
- Fig. 4.1-8 Coolant outlet temperature in each flow zone for BOIC
- Fig. 4.1-9 Maximum fuel temperature as a function of relative channel power for BOIC
- Fig. 4.1-10 Maximum fuel temperature spectrum for BOIC
- Fig. 4.1-11(a) Radial pin temperature distribution in ch.1 for BOIC steady state
- Fig. 4.1-11(b) Axial temperature distributions of fuel, cladding, coolant, and structure in ch.1 for BOIC steady state
- Fig. 4.1-11(c) Fuel restructuring profiles in ch.1 for BOIC steady state
- Fig. 4.1-11(d) Fuel/cladding gap profile in ch.1 for BOIC steady state
- Fig. 4.1-12(a) Radial pin temperature distribution in ch.1 for BOIC steady state
- Fig. 4.1-12(b) Axial temperature distributions of fuel, cladding, coolant, and structure in ch.2 for BOIC steady state
- Fig. 4.1-12(c) Fuel restructuring profiles in ch.2 for BOIC steady state
- Fig. 4.1-12(d) Fuel/cladding gap profile in ch.2 for BOIC steady state
- Fig. 4.1-13(a) Radial pin temperature distribution in ch.3 for BOIC steady state
- Fig. 4.1-13(b) Axial temperature distributions of fuel, cladding, coolant, and structure in ch.3 for BOIC steady state

- Fig. 4.1-13(c) Fuel restructuring profiles in ch.3 for BOIC steady state
- Fig. 4.1-13(d) Fuel/cladding gap profile in ch.3 for BOIC steady state
- Fig. 4.1-14(a) Radial pin temperature distribution in ch.4 for BOIC steady state
- Fig. 4.1-14(b) Axial temperature distributions of fuel, cladding, coolant, and structure in ch.4 for BOIC steady state
- Fig. 4.1-14(c) Fuel restructuring profiles in ch.4 for BOIC steady state
- Fig. 4.1-14(d) Fuel/cladding gap profile in ch.4 for BOIC steady state
- Fig. 4.1-15(a) Radial pin temperature distribution in ch.5 for BOIC steady state
- Fig. 4.1-15(b) Axial temperature distributions of fuel, cladding, coolant, and structure in ch.5 for BOIC steady state
- Fig. 4.1-15(c) Fuel restructuring profiles in ch.5 for BOIC steady state
- Fig. 4.1-15(d) Fuel/cladding gap profile in ch.5 for BOIC steady state
- Fig. 4.1-16(a) Radial pin temperature distribution in ch.6 for BOIC steady state
- Fig. 4.1-16(b) Axial temperature distributions of fuel, cladding, coolant, and structure in ch.6 for BOIC steady state
- Fig. 4.1-16(c) Fuel restructuring profiles in ch.6 for BOIC steady state
- Fig. 4.1-16(d) Fuel/cladding gap profile in ch.6 for BOIC steady state
- Fig. 4.1-17(a) Radial pin temperature distribution in ch.7 for BOIC steady state
- Fig. 4.1-17(b) Axial temperature distributions of fuel, cladding, coolant, and structure in ch.7 for BOIC steady state
- Fig. 4.1-17(c) Fuel restructuring profiles in ch.7 for BOIC steady state
- Fig. 4.1-17(d) Fuel/cladding gap profile in ch.7 for BOIC steady state
- Fig. 4.1-18(a) Radial pin temperature distribution in ch.8 for BOIC steady state
- Fig. 4.1-18(b) Axial temperature distributions of fuel, cladding, coolant, and structure in ch.8 for BOIC steady state
- Fig. 4.1-18(c) Fuel restructuring profiles in ch.8 for BOIC steady state
- Fig. 4.1-18(d) Fuel/cladding gap profile in ch.8 for BOIC steady state
- Fig. 4.1-19(a) Radial pin temperature distribution in ch.9 for BOIC steady state

- Fig. 4.1-19(b) Axial temperature distributions of fuel, cladding, coolant, and structure in ch.9 for BOIC steady state
- Fig. 4.1-19(c) Fuel restructuring profiles in ch.9 for BOIC steady state
- Fig. 4.1-19(d) Fuel/cladding gap profile in ch.9 for BOIC steady state
- Fig. 4.1-20(a) Radial pin temperature distribution in ch.10 for BOIC steady state
- Fig. 4.1-20(b) Axial temperature distributions of fuel, cladding, coolant, and structure in ch.10 for BOIC steady state
- Fig. 4.1-20(c) Fuel restructuring profiles in ch.10 for BOIC steady state
- Fig. 4.1-20(d) Fuel/cladding gap profile in ch.10 for BOIC steady state
- Fig. 4.1-21(a) Radial pin temperature distribution in ch.11 for BOIC steady state
- Fig. 4.1-21(b) Axial temperature distributions of fuel, cladding, coolant, and structure in ch.11 for BOIC steady state
- Fig. 4.1-21(c) Fuel restructuring profiles in ch.11 for BOIC steady state
- Fig. 4.1-21(d) Fuel/cladding gap profile in ch.11 for BOIC steady state
- Fig. 4.1-22(a) Radial pin temperature distribution in ch.12 for BOIC steady state
- Fig. 4.1-22(b) Axial temperature distributions of fuel, cladding, coolant, and structure in ch.12 for BOIC steady state
- Fig. 4.1-22(c) Fuel restructuring profiles in ch.12 for BOIC steady state
- Fig. 4.1-22(d) Fuel/cladding gap profile in ch.12 for BOIC steady state
- Fig. 4.1-23(a) Radial pin temperature distribution in ch.13 for BOIC steady state
- Fig. 4.1-23(b) Axial temperature distributions of fuel, cladding, coolant, and structure in ch.13 for BOIC steady state
- Fig. 4.1-23(c) Fuel restructuring profiles in ch.13 for BOIC steady state
- Fig. 4.1-23(d) Fuel/cladding gap profile in ch.13 for BOIC steady state
- Fig. 4.1-24(a) Radial pin temperature distribution in ch.14 for BOIC steady state
- Fig. 4.1-24(b) Axial temperature distributions of fuel, cladding, coolant, and structure in ch.14 for BOIC steady state
- Fig. 4.1-24(c) Fuel restructuring profiles in ch.14 for BOIC steady state
- Fig. 4.1-24(d) Fuel/cladding gap profile in ch.14 for BOIC steady state

- Fig. 4.1-25(a) Radial pin temperature distribution in ch.15 for BOIC steady state
- Fig. 4.1-25(b) Axial temperature distributions of fuel, cladding, coolant, and structure in ch.15 for BOIC steady state
- Fig. 4.1-25(c) Fuel restructuring profiles in ch.15 for BOIC steady state
- Fig. 4.1-25(d) Fuel/cladding gap profile in ch.15 for BOIC steady state
- Fig. 4.1-26(a) Radial pin temperature distribution in ch.16 for BOIC steady state
- Fig. 4.1-26(b) Axial temperature distributions of fuel, cladding, coolant, and structure in ch.16 for BOIC steady state
- Fig. 4.1-26(c) Fuel restructuring profiles in ch.16 for BOIC steady state
- Fig. 4.1-26(d) Fuel/cladding gap profile in ch.16 for BOIC steady state
- Fig. 4.2-1 Timing of events for BOIC LOF (LF.BE.C2100)
- Fig. 4.2-2 Power and net reactivity profiles for BOIC LOF
Case ID : LF.BE.C2100
- Fig. 4.2-3 Component reactivity traces for BOIC LOF
Case ID : LF.BE.C2100
- Fig. 4.2-4 Component reactivity traces for BOIC LOF
Case ID : LF.BE.C2100
- Fig. 4.2-5 Core flow coast down curve and pressure changes in inlet and outlet nozzle
- Fig. 4.2-6 Normalized flow and voiding profiles in ch.2 for BOIC LOF
Case ID : LF.BE.C2100
- Fig. 4.2-7 Normalized flow and voiding profiles in ch.12 for BOIC LOF
Case ID : LF.BE.C2100
- Fig. 4.2-8 Normalized flow and voiding profiles in ch.4 for BOIC LOF
Case ID : LF.BE.C2100
- Fig. 4.2-9 Coolant reactivity traces by channel for BOIC LOF
Case ID : LF.BE.C2100
- Fig. 4.2-10 Coolant reactivity traces by channel for BOIC LOF
Case ID : LF.BE.C2100
- Fig. 4.2-11 Fuel and cladding temperature histories for BOIC LOF
Case ID : LF.BE.C2100
- Fig. 4.2-12 Cladding reactivity traces by channel for BOIC LOF
Case ID : LF.BE.C2100

- Fig. 4.2-13 Cladding reactivity traces by channel for BOIC LOF
Case ID : LF.BE.C2100
- Fig. 4.2-14 Cladding relocation in ch.4 for BOIC LOF
Case ID : LF.BE.C2100
- Fig. 4.2-15 Fuel reactivity traces by channel for BOIC LOF
Case ID : LF.BE.C2100
- Fig. 4.2-16 Fuel reactivity traces by channel for BOIC LOF
Case ID : LF.BE.C2100
- Fig. 4.2-17 Fuel dispersion in ch.4 for BOIC LOF (LF.BE.C2100)
- Fig. 4.2-18 Core state at T=22.09 sec for LF.BE.C2100
- Fig. 4.2-19 Fuel temperature distribution at T=22.09 sec for LF.BE.C2100
- Fig. 4.2-20 Coolant void distribution at T=22.09 sec for LF.BE.C2100
- Fig. 4.2-21 Core state at the end of initiating phase for BOIC LOF
Case ID : LF.BE.C2100
- Fig. 4.2-22 Fuel temperature distribution at the end of initiating phase
for BOIC LOF
Case IF : LF.BE.C2100
- Fig. 4.2-23 Coolant void distribution at the end of initiating phase for
BOIC LOF
Case ID : LF.BE.C2100
- Fig. 4.2-24 Fuel density distributions are shown from T=22.09 sec to
T=22.59 sec where the initiating phase is completely shutdown
for LF.BE.C2100
- Fig. 4.2-25 P-V curve and corresponding fuel vapor expansion work for
the two phase fuel generated at the end of initiating phase
for LF.BE.C2100
- Fig. 4.2-26 P-V curve and corresponding fuel vapor expansion work for the
two phase fuel generated at the end of initiating phase for
LF.BE.C2100
- Fig. 4.2-27 Timing of events for BOIC LOF (LF.EXNRC.C2108)
- Fig. 4.2-28 Power and net reactivity profiles for BOIC LOF
Case ID : LF.EXNRC.C2108
- Fig. 4.2-29 Component reactivity traces for BOIC LOF
Case ID : LF.EXNRC.C2108
- Fig. 4.2-30 Component reactivity traces for BOIC LOF
Case ID : LF.EXNRC.C2108
- Fig. 4.2-31 Coolant reactivity traces by channel for BOIC LOF
Case ID : LF.EXNRC.C2108

- Fig. 4.2-32 Normalized flow and voiding profiles in ch.2 for BOIC LOF
Case ID : LF.EXNRC.C2108
- Fig. 4.2-33 Normalized flow and voiding profiles in ch.4 for BOIC LOF
Case ID : LF.EXNRC.C2108
- Fig. 4.2-34 Cladding reactivity traces by channel for BOIC LOF
Case ID : LF.EXNRC.C2108
- Fig. 4.2-35 Cladding relocation in ch.4 for BOIC LOF
Case ID : LF.EXNRC.C2108
- Fig. 4.2-36 Fuel reactivity traces by channel for BOIC LOF
Case ID : LF.EXNRC.C2108
- Fig. 4.2-37 Fuel dispersion in ch.4 for BOIC LOF (LF.EXNRC.C2108)
- Fig. 4.2-38 FCI zone growth and fuel ejection velocity in ch.16 for
BOIC LOF (LF.EXNRC.C2108)
- Fig. 4.2-39 Fuel and cladding temperature histories for BOIC LOF
Case ID : LF.EXNRC.C2108
- Fig. 4.2-40 Core state at the end of initiating phase for BOIC LOF
Case ID : LF.EXNRC.C2108
- Fig. 4.2-41 Fuel temperature distribution at the end of initiating phase
for BOIC LOF
Case ID : LF.EXNRC.C2108
- Fig. 4.2-42 Coolant void distribution at the end of initiating phase
for BOIC LOF
Case ID : LF.EXNRC.C2108
- Fig. 4.2-43 Fuel density distributions at the end of initiating phase
for LF.EXNRC.C2108
- Fig. 4.2-44 P-V curve and corresponding fuel vapor expansion work for
the two phase fuel generated up to the end of initiating phase
Case ID : LF.EXNRC.C2108
- Fig. 4.2-45 Timing of events for BOIC LOF (LF.RP.C2107)
- Fig. 4.2-46 Power and net reactivity profiles for BOIC LOF
Case ID : LF.RP.C2107
- Fig. 4.2-47 Component reactivity traces for BOIC LOF
Case ID : LF.RP.C2107
- Fig. 4.2-48 Normalized flow and voiding profiles in ch.2 for BOIC LOF
Case ID : LF.RP.C2107
- Fig. 4.2-49 Fuel reactivity traces by channel for BOIC LOF
Case ID : LF.RP.C2107

- Fig. 4.2-50 FCI zone growth and fuel ejection velocity in ch.16 for BOIC LOF (LF.RP.C2107)
- Fig. 4.2-51 Core state at T=20.30 sec for BOIC LOF
Case ID : LF.RP.C2107
- Fig. 4.2-52 Fuel temperature distribution at T=20.30 sec for BOIC LOF
Case ID : LF.RP.C2107
- Fig. 4.2-53 Coolant void distribution at T=20.30 sec for BOIC LOF
Case ID : LF.RP.C2107
- Fig. 4.2-54 Fuel density distributions at T=20.30 sec for LF.RP.C2107
- Fig. 4.2-55 P-V curve and corresponding fuel vapor expansion work for the two phase fuel generated up to T=20.30 sec.
Case ID : LF.RP.C2107
- Fig. 4.2-56 Timing of events for BOIC LOF (LF.SDFRIC.C2112)
- Fig. 4.2-57 Power and net reactivity profiles for BOIC LOF
Case ID : LF.SDFRIC.C2112
- Fig. 4.2-58 Fuel reactivity traces by channel for BOIC LOF
Case ID : LF.SDFRIC.C2112
- Fig. 4.2-59 The extension of fuel slumping region in ch.4 for BOIC LOF (LF.SDFRIC.C2112)
- Fig. 4.2-60 Comparison of coolant voiding profiles in ch.14 between LF.RP.C2107 and LF.SDFRIC.C2112
- Fig. 4.2-61 Core state at T=20.28 sec for BOIC LOF
Case ID : LF.SDFRIC.C2112
- Fig. 4.2-62 Fuel temperature distribution at T=20.28 sec for BOIC LOF
Case ID : LF.SDFRIC.C3112
- Fig. 4.2-63 Coolant void distribution at T=20.28 sec for BOIC LOF
Case ID : LF.SDFRIC.C2112
- Fig. 4.2-64 P-V curve and corresponding fuel vapor expansion work for the two phase fuel generated up to T=20.28 sec
Case ID : LF.SDFRIC.C2112
- Fig. 4.2-65 Timing of events for BOIC LOF (LF.NSS.FCI25.CNT.C2110)
- Fig. 4.2-66 Power and net reactivity profiles for BOIC LOF
Case ID : LF.NSS.FCI25.CNT.C2110
- Fig. 4.2-67 Fuel reactivity traces by channel for BOIC LOF
Case ID : LF.NSS.FCI25.CNT.C2110
- Fig. 4.2-68 Fuel temperature distribution at the end of initiating phase for BOIC LOF
Case ID : LF.NSS.FCI25.CNT.C2110

- Fig. 4.2-69 Core state at T=20.30 sec for BOIC LOF
Case ID : LF.NSS.FCI25.CNT.C2110
- Fig. 4.2-70 Fuel temperature distribution at T=20.30 sec for BOIC LOF
Case ID : LF.NSS.FCI25.CNT.C2110
- Fig. 4.2-71 Coolant void distribution at T=20.30 sec for BOIC LOF
Case ID : LF.NSS.FCI25.CNT.C2110
- Fig. 4.2-72 P-V curve and corresponding fuel vapor expansion work for
the two phase fuel generated up to T=20.30 sec
Case ID : LF.NSS.FCI25.CNT.C2110
- Fig. 4.2-73 Timing of events for BOIC LOF (LF.BURST.FCI.C2113)
- Fig. 4.2-74 Power and net reactivity profiles for BOIC LOF
Case ID : LF.BURST.FCI.C2113
- Fig. 4.2-75 Component reactivity traces for BOIC LOF (full time)
Case ID : LF.BURST.FCI.C2113
- Fig. 4.2-76 Component reactivity traces for BOIC LOF
Case ID : LF.BURST.FCI.C2113
- Fig. 4.2-77 Coolant reactivity traces by channel for BOIC LOF
Case ID : LF.BURST.FCI.C2113
- Fig. 4.2-78 Coolant reactivity traces by channel for BOIC LOF
Case ID : LF.BURST.FCI.C2113
- Fig. 4.2-79 Fuel reactivity traces by channel for BOIC LOF
Case ID : LF.BURST.FCI.C2113
- Fig. 4.2-80 Cladding reactivity traces by channel for BOIC LOF
Case ID : LF.BURST.FCI.C2113
- Fig. 4.2-81 Core state at the end of initiating phase for BOIC LOF
Case ID : LF.BURST.FCI.C2113
- Fig. 4.2-82 Coolant void distribution at the end of initiating phase
for BOIC LOF
Case ID : LF.BURST.FCI.C2113
- Fig. 4.2-83 Fuel temperature distribution at the end of initiating phase
for BOIC LOF
Case ID : LF.BURST.FCI.C2113
- Fig. 4.2-84 P-V curve and corresponding fuel vapor expansion work for
the two phase fuel generated up to the end of initiating phase
Case ID : LF.BURST.FCI.C2113
- Fig. 4.2-85 Timing of events for BOIC LOF (LF.GAPCON.C2109)
- Fig. 4.2-86 Power and net reactivity profiles for BOIC LOF
Case ID : LF.GAPCON.C2109

- Fig. 4.2-87 FCI zone growth in ch.16 and fuel reactivity traces in ch.6-10 for LF.GAPCON.C2109
- Fig. 4.2-88 Core state at the end of initiating phase for BOIC LOF
Case ID : LF.GAPCON.C2109
- Fig. 4.2-89 Coolant void distribution at the end of initiating phase for BOIC LOF
Case ID : LF.GAPCON.C2109
- Fig. 4.2-90 Fuel temperature distribution at the end of initiating phase for BOIC LOF
Case ID : LF.GAPCON.C2109
- Fig. 4.2-91 P-V curve and corresponding fuel vapor expansion work for the two phase fuel generated up to the end of initiating phase
Case ID : LF.GAPCON.C2109
- Fig. 4.2-92 The core states at the end of initiating phase are compared for LF.BE.C2100, LF.EXNRC.C2108 and LF.RP.C2107
- Fig. 4.3-1 Timing of events for BOIC TOP (TP.BE.C3100)
- Fig. 4.3-2 Power and net reactivity profiles for BOIC TOP
Case ID : TP.BE.C3100
- Fig. 4.3-3 Component reactivity traces for BOIC TOP
Case ID : TP.BE.C3100
- Fig. 4.3-4 Component reactivity traces for BOIC TOP
Case ID : TP.BE.C3100
- Fig. 4.3-5 Coolant reactivity traces by channel for BOIC TOP
Case ID : TP.BE.C3100
- Fig. 4.3-6 Coolant reactivity traces by channel for BOIC TOP
Case ID : TP.BE.C3100
- Fig. 4.3-7 Fuel reactivity traces by channel for BOIC TOP
Case ID : TP.BE.C3100
- Fig. 4.3-8 FCI zone growths in ch.12 for BOIC TOP
Case ID : TP.BE.C3100
- Fig. 4.3-9 Ejected fuel mass and FCI zone temperatures in ch.12 for BOIC TOP
Case ID : TP.BE.C3100
- Fig. 4.3-10 Core state at the end of initiating phase for BOIC TOP
Case ID : TP.BE.C3100
- Fig. 4.3-11 Fuel temperature distribution at the end of initiating phase for BOIC TOP
Case ID : TP.BE.C3100

- Fig. 4.3-12 Coolant void distribution at the end of initiating phase for BOIC TOP
Case ID : TP.BE.C3100
- Fig. 4.3-13 Power and net reactivity profiles for BOIC TOP
Case ID : TP.EXNRC.C3103
- Fig. 4.3-14 Component reactivity traces for BOIC TOP (full time)
Case ID : TP.EXNRC.C3103
- Fig. 4.3-15 Component reactivity traces for BOIC TOP
Case ID : TP.EXNRC.C3103
- Fig. 4.3-16 Coolant reactivity traces by channel for BOIC TOP
Case ID : TP.EXNRC.C3103
- Fig. 4.3-17 Fuel reactivity traces by channel for BOIC TOP
Case ID : TP.EXNRC.C3103
- Fig. 4.3-18 FCI zone growths in ch.12 for BOIC TOP
Case ID : TP.EXNRC.C3103
- Fig. 4.3-19 Ejected fuel mass and FCI zone temperatures in ch.12 for BOIC TOP
Case ID : TP.EXNRC.C3103
- Fig. 4.3-20 Fuel and cladding temperatures in ch.4 for TP.EXNRC.C3103
- Fig. 4.3-21 Core state at the end of initiating phase for BOIC TOP
Case ID : TP.EXNRC.C3103
- Fig. 4.3-22 Fuel temperature distribution at the end of initiating phase for BOIC TOP
Case ID : TP.EXNRC.C3103
- Fig. 4.3-23 Coolant void distribution at the end of initiating phase for BOIC TOP
Case ID : TP.EXNRC.C3103
- Fig. 4.3-24 Power and net reactivity profiles for BOIC TOP
Case ID : TP.RP.C3101
- Fig. 4.3-25 Component reactivity traces for BOIC TOP
Case ID : TP.RP.C3101
- Fig. 4.3-26 Coolant reactivity traces by channel for BOIC TOP
Case ID : TP.RP.C3101
- Fig. 4.3-27 FCI zone growth and fuel reactivity trace in ch.5 for BOIC TOP
Case ID : TP.RP.C3101
- fig. 4.3-28 Fuel and cladding temperature histories in ch.4 for BOIC TOP
Case ID : TP.RP.C3101
- Fig. 4.3-29 Core state at the end of initiating phase for BOIC TOP
Case ID : TP.RP.C3101

- Fig. 4.3-30 Fuel temperature distribution at the end of initiating phase for BOIC TOP
Case ID : TP.RP.C3101
- Fig. 4.3-31 Coolant void distribution at the end of initiating phase for BOIC TOP
Case ID : TP.RP.C3101
- Fig. 4.3-32 Power and net reactivity profiles for BOIC TOP
Case ID : TP.LRIP.FCI.C3106
- Fig. 4.3-33 Coolant reactivity trace, FCI zone growth, and fuel reactivity change in ch.12 for TP.LRIP.FCI.C3106
- Fig. 4.3-34 Core state at the end of initiating phase for BOIC TOP
Case ID : TP.LRIP.FCI.C3106
- Fig. 4.3-35 Fuel temperature distribution at the end of initiating phase for BOIC TOP. Case ID : TP.LRIP.FCI.C3106
- Fig. 4.3-36 Coolant void distribution at the end of initiating phase for BOIC TOP
Case ID : TP.LRIP.FCI.C3106
- Fig. 4.3-37 Power and net reactivity profiles for BOIC TOP
Case ID : TP.LRAD.FCI.C3107
- Fig. 4.3-38 Coolant reactivity trace, FCI zone growth, and fuel reactivity change in ch.12 for TP.LRAD.FCI.C3107
- Fig. 4.3-39 Core state at the end of initiating phase for BOIC TOP
Case ID : TP.LRAD.FCI.C3107
- Fig. 4.3-40 Fuel temperature distribution at the end of initiating phase for BOIC TOP
Case ID : TP.LRAD.FCI.C3107
- Fig. 4.3-41 Coolant void distribution at the end of initiating phase for BOIC TOP
Case ID : TP.LRAD.FCI.C3107
- Fig. 4.3-42 Power and net reactivity profiles for BOIC TOP
Case ID : TP.FCI75.C3105
- Fig. 4.3-43 Coolant voiding profile, void reactivity trace, and cladding temperature change in ch.2 for TP.FCI75.C3105
- Fig. 4.3-44 Fuel temperature histories in ch.2 and ch.12 for TP.FCI75.C3105
- Fig. 4.3-45 Core state at T=72.12 sec for BOIC TOP
Case ID : TP.FCI75.C3105
- Fig. 4.3-46 Fuel temperature distribution at T=72.12 sec for BOIC TOP
Case ID : TP.FCI75.C3105

- Fig. 4.3-47** Coolant void distribution at T=72.12 sec for BOIC TOP
Case ID : TP.FCI75.C3105
- Fig. 4.3-48** Power and net reactivity profiles for BOIC TOP
Case ID : TP.GAPCON.C3104
- Fig. 4.3-49** Coolant reactivity trace, FCI zone growth, and fuel
reactivity change in ch.12 for TP.GAPCON.C3104
- Fig. 4.3-50** Core state at the end of initiating phase for BOIC TOP
Case ID : TP.GAPCON.C3104
- Fig. 4.3-51** Fuel temperature distribution at the end of initiating phase
for BOIC TOP
Case ID : TP.GAPCON.C3104
- Fig. 4.3-52** Coolant void distribution at the end of initiating phase
for BOIC TOP
Case ID : TP.GAPCON.C3104
- Fig. 4.3-53** Comparison of final core states for BE, EXNRC, and RP cases

第 4 章 初装荷炉心

4.1 炉心のモデル化

4.1.1 SASチャンネル構成

4. 初装荷炉心の起因事故解析

4.1 炉心のモデル化

4.1.1 SAS チャンネル構成

(1) 初装荷炉心特性

初装荷炉心は炉心滞在時間が短く、平衡炉心に比較すると事故発生確率は小さい。しかし、初装荷初期炉心は以下の様な特殊性を有し、これは事故時事象展開に重大な影響を与えると考えられる。

(i) 新燃料で構成されているため、燃料ペレット内に F P ガスが存在しない。

(ii) 集合体出力分布、及び出力／流量比分布の分散が小さい。

ペレット内の FP ガスは燃料破損が生じた際、燃料移動の駆動力となり、起因過程末期の炉心挙動を支配する。炉心流量減少事故では、FCI によって LOF-d-TOP 状態が誘発され、又反応度挿入事故でも FCI によって出力暴走が生ずる可能性がある。しかし初装荷炉心では FP ガスを駆動力として燃料が放出されるモードは期待できない。従って、この点からは BOIC の事故ポテンシャルは低いと考えられる。しかし、一方、(iii) は事象展開の同時性を強調することになり、事故ポテンシャルを高くする要因となっている。

初装荷初期炉心を SAS 3D チャンネルで代表する場合、上記特殊性を考慮して炉心燃料集合体の分割を行う必要がある。尚、炉心特性と事故事象展開との関係は第 5.1 章に詳述したので参考にされたい。

(2) 炉心の SAS チャンネル分割

SAS 3D による起因事故解析を実施するためにはコードの制限から約 3 万本に及ぶ炉心燃料ピンをほぼ同等の特質を持つグループ（34 群以下）にまとめる必要がある。高速炉では軽水炉に比べ出力分布が平坦である特質を有するために冷却材流量も集合体列毎の流量配分が計画されている。従って、ここでは燃料集合体列毎の平均出力、平均流量及び平均燃焼度等を基に SAS チャンネルへの分割を行なうこととする。

(1) に述べた様に初装荷炉心は全て新燃料で構成されていることから燃焼による被覆管の劣化及び F. P. ガスの発生などは無視しうる。このため、初装荷炉心の過渡挙動及び燃料破損など

は定常時の出力及び冷却材流量に強く依存し、特に冷却材沸騰などは初期の出力／流量化に支配される。このためチャンネル分割は異なる流量領域の集合体を同一グループとすることは避け、また、同一流量領域での事象の incoherency を考慮するために流量領域毎に 2 分割以上とし、その分割は各燃料集合体の出力により決めた。

この結果、初装荷炉心は内側炉心 10 チャンネル（各流量領域当り 2 チャンネル）、外側炉心 6 チャンネル（各層当り 3 チャンネル）の合計 16 チャンネル構成となった。チャンネル番号は便宜上出力／流量比の高い順とした。

Fig. 4.1.1 に初装荷炉心の SAS チャンネル構成及び根拠とした燃料集合体毎の相対出力及び出力／流量比を示す。ここで集合体出力は第 3 章で述べたように 3 次元拡散計算コード HEXA-Z により求めたものである。

(3) SAS チャンネル核熱データ

SAS メンネルの核熱データは各々の SAS チャンネルで代表される燃料集合体群の平均値を用いた。即ち、各々の SAS チャンネルはそれぞれの代表する燃料集合体の平均的な燃料ピンから構成される。Table 4.1.1 に SAS チャンネルの主要な核熱データをまとめた。以下にこれらデータの算出方法について述べる。

(i) 冷却材流量

冷却材流量は各々の SAS チャンネルが代表する燃料集合体の属する冷却材流量領域（Fig. 3.2.13 参照）の集合体内平均流量（Table 3.2.2 参照）とする⁶⁴⁾。

(ii) 出力

原子炉の初期出力は定格出力（熱出力 714 MW）とする。このうち、SAS チャンネルで考慮する炉心部分の出力分担は核設計値より燃料部発熱 710 MW_t の中から径方向ブランケットの発熱分を除いた 681 MW_t （95.9%）とする。内訳を以下に示す。

内側炉心	54.3 %
外側炉心	39.4 %
軸方向ブランケット	2.2 %

SAS チャンネル軸方向出力分布は各 SAS チャンネルを構成する各燃料集合体群の軸方向ノード毎の総和に対する相対値から求めた。Fig. 4.1.2 に各 SAS チャンネルの相対的な軸方向出力分布を示す。これらはいずれも健全炉心の値である。初装荷炉心では制御棒（粗調整棒）が炉心中央まで挿入されているため、出力ピークは炉心高さ中央よりやや下（～75 cm）にある。又、最大出力チャンネルは第 1 流量ゾーンに存在する Ch. 10 と Ch. 12 であり、最小出力チャンネルは、外側炉心第 2 列に存在する Ch. 15 である。

(iii) 反応度係数

SAS 3Dコードで考慮する反応度係数はドップラー係数、燃料反応度係数、冷却材ボイド反応度係数及び構造材反応度係数である。本解析ではこれら諸反応度係数は出力分布と共にHEXA-Zコードにより3次元空間分布として求めた。ここでの解析では各SASチャンネルを構成する燃料集合体群の持つ反応度係数の軸方向ノード毎の総和をチャンネル反応度係数とする。以下に諸反応度係数について詳述する。尚、各反応度係数の事故事象展開との関係は第5.1章に記述した。

(a) ドップラー係数

Table 4.1.2に解析に使用したSASチャンネル毎のドップラー係数を、またFig. 4.1.3にチャンネル毎の軸方向分布を示す。ドップラー係数は冷却材のボイド効果により減少する効果が著しいことから、SAS 3Dコードでは健全状態（非ボイド）と完全ボイド状態でのドップラー係数を与え、冷却材のボイド率から直線内挿により過渡時のドップラー係数を決定する。

(b) 燃料反応度係数

Table 4.1.3に解析に使用したSASチャンネル毎の燃料反応度係数を、またFig. 4.1.4にチャンネル毎の軸方向分布を示す。SAS 3Dコードでは燃料によるフィードバック効果として前述のドップラー効果の他に燃料軸方向膨張による密度効果及び燃料破損後の燃料移動による反応度効果を考慮する¹⁴⁾。この2つの反応度効果は燃料反応度係数分布を用いて燃料密度変化から一次の摂動計算により求められる。尚、燃料反応度係数分布は健全炉心の値である。

(c) 冷却材ボイド反応度係数（冷却材反応度係数）

Table 4.1.4に解析に使用したSASチャンネル毎の冷却材ボイド反応度係数を、またFig. 4.1.5にチャンネル毎の軸方向分布を示す。

SAS 3Dコードでは冷却材による反応度効果として冷却材沸騰前の密度変化効果、及び沸騰後のボイド効果を考慮するが、これらは入力として与えた冷却材ボイド反応度係数分布を用いて密度変化から一次の摂動計算により求められる。平衡初期炉心ではCh. 6及びCh. 14～16の軸方向全領域のボイド係数は負値を示す。又、第1流量ゾーンに存在するCh. 10及びCh. 12が最大のボイド係数を持つ。

尚、本解析では燃料集合体ラッパー管外側の冷却材の持つ反応度係数は除いてある。これは、起因事故解析では高々数十秒間の事故事象を評価することから、この間のラッパー管間の冷却材反応度効果は無視し得る程度に小さいと考えられるためである。

(d) 構造材反応度係数

Table 4.1.5に解析に使用したSASチャンネル毎の構造材反応度係数（被覆管及びスペーサワイヤの合計）を示す。ここでラッパー管の持つ反応度係数は無視した。これは、SAS 3Dコードでは構造材による反応度効果として被覆管の軸方向膨張による密度効果及

び溶融被覆管の移動によるフィードバック効果のみを考慮しており、熱的挙動の異なるラッパ管の反応度値を含めることは妥当でないと考えられるためである。また、ラッパ管の温度変化に伴う密度効果は他の反応度効果に比べ、無視しうると考えられる。

尚、Fig 4.1.6に構造材反応度の軸方向分布を示すが、これらは他の反応度係数と同様、健全炉心の値であり、各ノードの密度変化から一次の摂動計算により反応度フィードバック効果を求める。

(4) その他データ

解析に使用した炉心構造、各部圧損、一次系データ等は第3章に述べた各炉心共通の値を用いた。初装荷炉心の炉心流量減少事故に対するSAS 3Dサンプル入力をTable 4.1.8に示した。

4.1.2 初期定常状態

4.1.2 初期定常状態

起因事故過程では原子炉の初期定常状態がその後の事故事象シーケンスに大きな影響を与える。SAS 3Dコードでは定常計算ルーチンにより、定常時の燃料ピンの組織変化、熱膨張、ギャップコンダクタンス及び燃料、冷却材等の定常温度計算を行なう。

ここで、SAS 3Dコードによる定常計算結果と熱設計による定常計算結果は燃料組織変化モデル、数値解法、物性値などの相違により厳密には一致しない。特に燃料温度、即ち初期に燃料の保有するエンタルピー (initial stored energy) は燃料組織変化により大きく異なる。

本解析では全炉心的な事故事象の評価を目的として、平均的な燃料ピンを想定していること、冷却材沸騰開始を決める冷却材温度計算モデルに熱設計に用いたモデルとの基本的な相違がないこと、及びSAS 3Dコードの検証がある程度なされていることなどを考慮して、出力、流量、燃焼度を入力としたSAS 3D定常計算結果を初期状態とした。ここで、初期出力は定格出力(100%)とし、燃焼度は0を仮定し定格出力までの立ち上げによる燃焼効果は無視した。

(1) 定常時燃料温度計算

Table 4.1.6にSAS 3Dコードによる初装荷炉心の定常計算結果の主要な値を示す。Fig. 4.1.7とFig. 4.1.8に各SAS 3Dチャンネルの冷却材出口温度を出力／流量比と流量領域の関数として示した。又、Fig. 4.1.9に各チャンネルの相対出力と燃料最高温度を示した。

Fig. 4.1.11～4.1.26の(a)～(d)に各チャンネルに対する定常時の燃料、被覆管及び冷却材の温度分布、燃料組織変化及びギャップ幅の軸方向分布を記載した。

(a) 燃料温度

各チャンネルの燃料最高温度 (Table 4.1.6参照) は1801℃ (第10チャンネル) ～1398℃ (第15チャンネル) となっており、Fig. 4.1.9に示した様に各チャンネルの最大線出力の順に高くなっている。Fig. 4.1.11～26の(a), (b)に各チャンネルの径方向と軸方向温度分布を示した。燃料軸方向温度分布は出力分布に比例し、最高温度点は炉心中央より下方 (炉心高さ75cm) に存在する。

Fig. 4.1.10に各チャンネルの燃料最高温度とチャンネルを構成する集合体数の関係 (燃料温度スペクトル) を示した。LOF型及びTOP型の両起因事故過程では、燃料の破損順位は大略集合体出力に従う。又、起因事故過程の挙動は、最も早く破損したチャンネルの燃料移動反応度に強く依存する。従って、BOICの起因過程はCh.10とCh.12で代表される集合体の燃料挙動に支配される可能性が大きい。又、Ch. 10, 12, 4, 9, 2及びCh. 5の集合体出力は互いに類似しているためこれ等のチャンネルで生ずる現象間の同時性は強く、BOICの事故ポテンシャルを増加させる主要因を構成している。

(b) 冷却材温度

炉心部の熱発生を除去する冷却材の最高温度は定常時ではFig. 4.1.11～26の(b)に示すように集合体出口附近となる。又、各チャンネルの冷却材最高温度（Table 4.1.6及びFig. 4.1.7参照）は562℃（第1チャンネル）～532℃（第16チャンネル）となり、初期の出力／流量比の順、即ち除熱能力の小さい順に高くなっている。又、Fig. 4.1.8に各流量ゾーンに存在するSASチャンネルの冷却材出口温度を示した。各流量ゾーンに高出力チャンネルと低出力チャンネルが配位されている様子が明らかである。

(c) 被覆管温度

各チャンネルの被覆管温度は燃料の発熱量と冷却材温度とのバランスにより決まるが、炉心上端附近までは同位置での冷却材温度より8～12℃（被覆管肉厚中心温度）高く、燃料の発熱が急激に減少する上部ブランケット部以上の領域では冷却材温度にほぼ一致する。

（Fig.4.1.11～26(b)参照）

従って最高温度は各チャンネル共炉心上端より上の領域となり、その値は肉厚中心温度で569℃～538℃となる。（Table 4.1.6参照）

上記(a)～(c)に述べた初装荷炉心の各種温度の妥当性を直接比較できるような設計データはないが、後述する平衡炉心での検討結果などから類推して、ほぼ妥当な結果であると考えられる。

(2) 燃料組織変化

「もんじゅ」設計では燃料組織変化温度を等軸晶領域の生成が1400℃以上、柱状晶領域の生成が1800℃以上と設定している⁶⁴⁾。 Fig 4.1.11～26の(c)に各チャンネルに対する燃料再組織化領域の径方向、及び軸方向分布を示した。

本解析ではSASチャンネルとして各々のチャンネルで代表される燃料集合体群の平均出力を与えた。このため、SASチャンネルでは燃料温度はホットチャンネルより低く、初装荷炉心では柱状晶領域が生成されたのはFig 4.1.20(c)に示した最大発熱チャンネル（第10チャンネル）のわずかの領域のみであり、その他のチャンネルでは生成されない。また、出力の最も低い第15チャンネルでは等軸晶領域及び中心空孔も生成されない（Fig 4.1.25(c)参照）。

(3) 燃料－被覆管ギャップコンダクタンス

Table 4.1.7にSAS3D定常計算による初装荷炉心の各SASチャンネル毎の炉心部分のギャップ幅及びギャップコンダクタンスの最大値及び最小値を示す。又、Fig 4.1.11～26の(d)に各チャンネルに対するギャップ幅軸方向分布を示す。

ギャップコンダクタンスは (Eq. 3-9) で述べたように Ross & Stant 型の関係式¹⁴⁾より求められるが、ほぼギャップ幅に反比例する。従ってギャップコンダクタンスの最大値はギャップ幅が最小となる炉心中心附近であり、990 (第10チャンネル) ~ 907 (第15チャンネル) BTU/hr ft²°F となり、これらは平衡炉心よりも大きい。これは初装荷炉心では燃焼度が小さく、スウェリングによる膨張がないためにギャップ幅が比較的大きいためと考えられる。

Table 4.1 - 1~4.1 - 8

Table 4.1-1 SAS Channel Average Quantities for BOIC

Channel #	Coolant Zone #	Subassemblies	Subassembly Power/Flow (Min. -- Max.)	Power* (Relative)	Flow* (g/cm ² sec)	Power/Flow* (Relative)	Burnup (10 ⁴ MWD/MTM)	Void Worth** (10 ⁻³ Δk/k)
1	4	9	1.056 -- 1.088	1.055	477.4	1.065	0.0	0.317
2	3	9	1.059 -- 1.077	1.133	513.2	1.063	0.0	0.420
3	5	18	1.033 -- 1.088	0.971	444.2	1.053	0.0	0.472
4	2	6	1.042 -- 1.056	1.167	537.9	1.045	0.0	0.324
5	6	12	1.027 -- 1.051	1.119	518.7	1.039	0.0	-0.089
6	8	12	1.007 -- 1.058	0.846	394.7	1.032	0.0	-0.642
7	4	15	1.017 -- 1.034	1.012	477.4	1.021	0.0	0.477
8	3	15	1.011 -- 1.040	1.088	513.2	1.021	0.0	0.697
9	2	6	1.009 -- 1.020	1.129	537.9	1.011	0.0	0.326
10	1	6	1.001 -- 1.007	1.193	574.0	1.001	0.0	0.352
11	5	12	0.978 -- 1.003	0.911	444.2	0.989	0.0	0.216
12	1	12	0.974 -- 0.992	1.168	574.0	0.980	0.0	0.749
13	6	24	0.954 -- 1.011	1.055	518.7	0.980	0.0	-0.100
14	7	18	0.939 -- 0.989	0.878	435.9	0.970	0.0	-1.097
15	8	18	0.782 -- 0.950	0.728	394.7	0.888	0.0	-1.113
16	6	6	0.873 -- 0.876	0.942	518.7	0.875	0.0	-0.201

Note: * Subassembly average

** Over core length

Table 4.1-2 Doppler Coefficients by SAS Channel for BOIC**(Core Fuel + Axial Blanket)**

Channel No.	Doppler Coefficient, (10^{-4} Tdk/dT)	
	Intact Core	Void Core
1	-4.288	-3.121
2	-5.094	-3.732
3	-7.156	-5.153
4	-3.614	-2.663
5	-3.211	-2.243
6	-1.912	-1.398
7	-6.476	-4.700
8	-7.608	-5.569
9	-3.233	-2.389
10	-3.766	-2.792
11	-4.045	-2.890
12	-6.916	-5.153
13	-5.682	-4.010
14	-3.072	-2.232
15	-2.146	-1.586
16	-1.130	-0.795
Total	-69.3	-50.4

Table 4.1-3 Fuel Worth by SAS Channel for BOIC⁽¹⁾

----INTEGRATED REACTIVITY TABLE----MATERIAL= FUEL($\Delta k/k$)			
CHANNEL #	LB+CORE+UB ⁽²⁾	CORE ⁽³⁾	POSITIVE SUM ⁽⁴⁾
1	2.09842E-02	2.09929E-02	2.11001E-02
2	2.33342E-02	2.33760E-02	2.34820E-02
3	3.58897E-02	3.57795E-02	3.59931E-02
4	1.64605E-02	1.65015E-02	1.65754E-02
5	3.05194E-02	3.03187E-02	3.05194E-02
6	2.00042E-02	1.98115E-02	2.00042E-02
7	3.27198E-02	3.27101E-02	3.28839E-02
8	3.69195E-02	3.69750E-02	3.71561E-02
9	1.60755E-02	1.61145E-02	1.61908E-02
10	1.72740E-02	1.73309E-02	1.74044E-02
11	2.16986E-02	2.15984E-02	2.17306E-02
12	3.44085E-02	3.45235E-02	3.46762E-02
13	5.47481E-02	5.43856E-02	5.47481E-02
14	3.23679E-02	3.20511E-02	3.23679E-02
15	2.38551E-02	2.35874E-02	2.38551E-02
16	1.15439E-02	1.14404E-02	1.15439E-02
CHANNEL SUM	4.28803E-01	4.27497E-01	4.30231E-01

(Note) (1) Summation of Axial node by 3 Dimensional Neutronics Calculation (3D HEXA-Z)

(2) Core Fuel + Upper and Lower Blanket

(3) Core Fuel

(4) Total Values of Positive Feedback Coefficient

Table 4.1-4 Void Worth by SAS Channel for BOIC⁽¹⁾

----INTEGRATED REACTIVITY TABLE----MATERIAL= VOID ($\Delta k/k$)			
CHANNEL #	LB+CORE+UB ⁽²⁾	CORE ⁽³⁾	POSITIVE SUM ⁽⁴⁾
1	3.17070E-04	4.13843E-04	5.03278E-04
2	4.19768E-04	5.29417E-04	6.16031E-04
3	4.71623E-04	6.55620E-04	8.27774E-04
4	3.24309E-04	3.99944E-04	4.58741E-04
5	-8.85616E-05	3.53023E-05	2.16614E-04
6	-6.42227E-04	-5.56478E-04	0.0
7	4.77358E-04	6.29244E-04	7.72208E-04
8	6.96755E-04	8.61256E-04	9.99984E-04
9	3.25778E-04	3.96083E-04	4.53217E-04
10	3.52321E-04	4.29359E-04	4.88867E-04
11	2.15727E-04	3.29038E-04	4.47171E-04
12	7.48747E-04	8.94953E-04	1.00925E-03
13	-1.00340E-04	1.24553E-04	4.34059E-04
14	-1.09682E-03	-9.58468E-04	0.0
15	-1.11345E-03	-1.00829E-03	0.0
16	-2.00775E-04	-1.50907E-04	0.0
CHANNEL SUM	1.10728E-03	3.02447E-03	7.22718E-03 ⁽⁵⁾

(Note) (1) Summary of Axial node by 3 Dimensional Neutronics Calculation (3D HEXA-Z) in the Wrapper Tubes

(2) Core Fuel + Upper and Lower Blanket

(3) Core Fuel

(4) Total Values of Positive Feedback Coefficient

(5) Maximum Positive Sodium Void Worth = 2.10 \$
 $(\beta_{\text{eff}} = 3.45 \times 10^{-3})$

Table 4.1-5 Stainless Steel Worth by SAS Channel for BOIC⁽¹⁾

----INTEGRATED REACTIVITY TABLE---- MATERIAL= STEEL ($\Delta k/k$)			
CHANNEL #	LB+CORE+UB ⁽²⁾	CORE ⁽³⁾	POSITIVE SUM ⁽⁴⁾
1	-1.36565E-03	-1.55474E-03	2.64030E-04
2	-1.69282E-03	-1.90624E-03	2.82998E-04
3	-2.26685E-03	-2.62028E-03	4.98600E-04
4	-1.24360E-03	-1.39160E-03	1.94165E-04
5	-7.14121E-04	-9.43220E-04	3.82809E-04
6	6.59545E-04	4.99291E-04	6.59545E-04
7	-2.05822E-03	-2.35492E-03	4.20273E-04
8	-2.63409E-03	-2.95926E-03	4.45427E-04
9	-1.15328E-03	-1.29339E-03	1.88038E-04
10	-1.31804E-03	-1.46937E-03	1.97562E-04
11	-1.22712E-03	-1.44323E-03	3.18096E-04
12	-2.55341E-03	-2.84612E-03	3.87094E-04
13	-1.30392E-03	-1.77217E-03	6.85976E-04
14	1.16163E-03	9.03561E-04	1.16163E-03
15	1.42438E-03	1.22861E-03	1.42438E-03
16	3.43374E-05	-5.72151E-05	1.96757E-04
CHANNEL SUM	-1.62512E-02	-1.99303E-02	7.70737E-03

- (Note) (1) Summary of Axial node by 3 Dimensional Neutronics Calculation (3D HEXA-Z) exclude Wrapper Tube
- (2) Core Fuel + Upper and Lower Blanket
- (3) Core Fuel
- (4) Total Values of Positive Feedback Coefficient

Table 4.1-6 Steady State Maximum Fuel, Cladding and Coolant Temperature for BOIC

SAS3D Steady State Calculation			
Channel	Maximum Temperature (°C)		
No.	Fuel (1)	Cladding (Midpoint)	Coolant
1	1694	568	562
2	1752	569	562
3	1622	565	560
4	1783	566	559
5	1748	565	558
6	1513	561	557
7	1659	561	555
8	1725	561	555
9	1764	560	554
10	1801	559	552
11	1566	555	550
12	1795	556	549
13	1695	555	549
14	1537	552	547
15	1398	538	535
16	1588	538	532

(Note 1) Fuel Temperature

Maximum : 1801°C (10 channel)

Minimum : 1398°C (15 channel)

Table 4.1-7 Gap Conductance by Channel for BOIC

(Core Fuel)

Channel No.	Fuel-Cladding Gap Conductance ⁽¹⁾ (W/cm ² ·°C)			
	Gap Width (cm)	Maximum ⁽²⁾	Gap Width (cm)	Minimum ⁽³⁾
1	0.0068	0.545	0.0084	0.489
2	0.0066	0.553	0.0083	0.492
3	0.0069	0.541	0.0085	0.487
4	0.0065	0.558	0.0083	0.492
5	0.0066	0.553	0.0083	0.492
6	0.0073	0.526	0.0087	0.481
7	0.0068	0.545	0.0085	0.487
8	0.0067	0.549	0.0084	0.489
9	0.0066	0.553	0.0084	0.489
10	0.0064	0.562	0.0083	0.492
11	0.0071	0.533	0.0086	0.484
12	0.0064	0.562	0.0084	0.489
13	0.0064	0.562	0.0085	0.487
14	0.0072	0.529	0.0086	0.484
15	0.0076	0.515	0.0087	0.481
16	0.0070	0.537	0.0085	0.487

- (Note) (1) Thermal Conductivity 3.255×10^{-3} W/cm²·°K
of Bord Gas (He Mole Rate ≈ 1.0)
- (2) Maximum = Core Center (W/cm²·°C)
- (3) Minimum = Top of Core (1000 BTU/hr·ft²·°F
= 0.5677 W/cm²·°C)

Table 4.1-8 SAS3D input list for LF.RPC2107 case

PAGE 1

TIME<10:12:04> DATE<03/27/R1>

J3781.LF.RFAC.PP.C2103.DAT

```

** MONJIN=HCDN : LDF=BOIC MRC CASE : LF(RIC)-MRC.HFA(C2103) 80/03/11
KOF : 3D-HEX-7 16-CH. (DOP:0.7 & VOID:1.5) (1 ST)
1411111111111111000000000000000000111111111111100000000000000000 BIC
IMPRCM 1 1 0
1 7 1A 539 0 0 500 1 0 RIC
15 10 0 200 200 0 1 0 11 15 12 RIC
31 7 -1 2 0 6 1 0
43 4 2 0 0 0
52 10 4 0 20 20 10 15 10 0 0
62 4 10 0 0 1 1 0
73 4 500 0 0 0
-1
UPCTN 11 1 0
1 5 5.00000E-02 1.00000E-02 50.0 3.00000E-01 5.00000E 01
4 5 3.00000E 01 5.00000E 03 5.00000E 03 1.00000E 06 2.00000E 02
11 5 1.16000E 00 4.18000E 02 0.00000E 00 1.00000E-02 1.00000E-03
14 3 5.00000E-06 1.00000E-05 2.50000E 01
-1
POWTHA 12 1 0
1 5 7.14 E-04 2348.28 4.054 E-07 8.38 E-05 7.31 E-04 RIC
4 5 4.46 E-04 1.25 E-03 5.66 E-04 1.73 E-04 1.30 E-02 RIC
11 5 3.13 E-02 1.35 E-01 3.46 E-01 1.39 3.79 RIC
14 5 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 RIC
21 5 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0 RIC
26 3 0.0 0.0 0.0 RIC
89 4 0.9536 0.8126 0.5 0.0464 RIC
91 1 0.0 REAC-AX
-1
PMATCH 13 1 0
1 5 1.03517E-01 5.76062E-02 3.46913E-02 2.85047E-02 2.50547E-02
4 5 2.29354E-02 2.15935E-02 2.07714E-02 2.03380E-02 2.02217E-02
11 5 2.05836E-02 2.08031E-02 2.14707E-02 2.23840E-02 2.35451E-02
14 5 2.49595E-02 2.46344E-02 2.92789E-02 2.92900E-02 2.92900E-02
21 5 1.35022E-01 7.33012E-02 4.25689E-02 3.42338E-02 2.95561E-02
26 5 2.86425E-02 2.47445E-02 2.35116E-02 2.27619E-02 2.23949E-02
31 5 2.25530E-02 2.26037E-02 2.31292E-02 2.39211E-02 2.49774E-02
34 5 2.63003E-02 2.78951E-02 3.04557E-02 3.04571E-02 3.04571E-02
41 5 1.44110E-01 7.79055E-02 4.48410E-02 3.58863E-02 3.08544E-02
44 5 2.77117E-02 2.56534E-02 2.43018E-02 2.34610E-02 2.30216E-02
51 5 2.29210E-02 2.31230E-02 2.36075E-02 2.43644E-02 2.53905E-02
54 5 2.46871E-02 2.82584E-02 3.07923E-02 3.07937E-02 3.07937E-02
61 5 1.32534E-01 7.21172E-02 4.19468E-02 3.37814E-02 2.92006E-02
64 5 2.63649E-02 2.44957E-02 2.32951E-02 2.25705E-02 2.22232E-02
71 5 2.21975E-02 2.24615E-02 2.29982E-02 2.37997E-02 2.48664E-02
74 5 2.61945E-02 2.77956E-02 3.03636E-02 3.03650E-02 3.03650E-02
161 5 100.0 200.0 400.0 550.0 700.0
164 5 850.0 1000.0 1150.0 1300.0 1450.0
171 5 1600.0 1750.0 1900.0 2050.0 2200.0
174 5 2350.0 2500.0 2699.9 2700.0 5000.0
181 5 0.27007 0.28366 0.30426 0.31512 0.32310
184 5 0.32917 0.33429 0.33943 0.34558 0.35362
191 5 0.36461 0.37946 0.39916 0.42465 0.45692
194 5 0.49693 0.54561 0.62571 0.50318 0.50318
201 5 0.27007 0.28366 0.30426 0.31512 0.32310
204 5 0.32917 0.33429 0.33943 0.34558 0.35362
211 5 0.36461 0.37946 0.39916 0.42465 0.45692
214 5 0.49693 0.54561 0.62571 0.50318 0.50318

```

Table 4.1-8 (continued)

PAGE 2

TIME<10:12:04> DAIF<03/27/81>
J3781.IF,RFAC,RP,C2103,DATA

221	5	0.27007	0.28366	0.30426	0.31517	0.32310
224	5	0.32917	0.33429	0.33943	0.34558	0.35362
231	5	0.36461	0.37944	0.39916	0.42465	0.45692
234	5	0.44493	0.54561	0.62571	0.50318	0.50318
241	5	0.27007	0.28366	0.30426	0.31512	0.32310
244	5	0.32917	0.33429	0.33943	0.34558	0.35362
251	5	0.36461	0.37944	0.39916	0.42465	0.45692
254	5	0.44493	0.54561	0.62571	0.50318	0.50318
341	5	100.0	200.0	400.0	550.0	700.0
344	5	850.0	1000.0	1150.0	1300.0	1450.0
351	5	1600.0	1750.0	1900.0	2050.0	2200.0
354	5	2350.0	2500.0	2699.9	2700.0	5000.0
361	5	10.992P	10.8815	10.7046	10.4899	10.2419
364	5	9.0490	8.8052	8.6131	8.0293	7.5196
371	5	10.992P	10.8815	10.7046	10.4899	10.2419
374	5	9.0490	8.8052	8.6131	8.0293	7.5196
401	5	10.992P	10.8815	10.7046	10.4899	10.2419
404	5	9.0490	8.8052	8.6131	8.0293	7.5196
421	5	10.992P	10.8815	10.7046	10.4899	10.2419
424	5	9.0490	8.8052	8.6131	8.0293	7.5196
521	5	100.0	500.0	1000.0	1500.0	2000.0
524	5	2700.0	2700.0	3000.0	4000.0	5000.0
541	5	100.0	500.0	1000.0	1500.0	2000.0
544	5	2700.0	2700.0	3000.0	4000.0	5000.0
561	5	100.0	500.0	1000.0	1500.0	2000.0
564	5	2700.0	2700.0	3000.0	4000.0	5000.0
581	5	100.0	500.0	1000.0	1500.0	2000.0
584	5	2700.0	2700.0	3000.0	4000.0	5000.0
681	5	2.01534E 12	1.93198E 12	1.85352E 12	1.77014E 12	1.68680E 12
684	5	1.64758E 12	1.60834E 12	1.06000E 12	9.50000E 11	8.50000E 11
691	5	7.50000E 11	6.50000E 11	0.0	0.0	0.0
741	5	0.0	100.0	200.0	300.0	400.0
744	5	450.0	500.0	1000.0	1100.0	1200.0
751	5	1500.0	1400.0	1500.0	2000.0	3000.0
761	5	4.28300E 09	5.83600E 09	5.26900E 09	4.46300E 09	3.81500E 09
764	5	3.04100E 09	2.32600E 09	1.80100E 09	1.39200E 09	1.16300E 09
771	5	2.24800E 08	2.37500E 08	6.76000E 08	5.71000E 08	2.42000E 08
821	5	5.00000E 01	2.00000E 02	4.00000E 02	6.00000E 02	6.50000E 02
824	5	7.00000E 02	7.50000E 02	8.00000E 02	8.50000E 02	8.75000E 02
831	5	8.99000E 02	9.27000E 02	9.50000E 02	1.00000E 03	1.40000E 03
841	5	3.968	4.110	4.420	4.564	4.701
844	5	4.831	4.955	5.386	5.295	5.077
851	5	4.838	0.0	0.0	0.0	0.0
901	5	27.0	200.0	400.0	800.0	1000.0
904	5	1200.0	1399.0	1400.0	1600.0	2000.0
911	5	3000.0	0.0	0.0	0.0	0.0
921	5	0.13583	0.31573	0.17890	0.23140	0.0
981	5	27.0	1399.0	1400.0	3000.0	0.0
1001	5	1.40000E 03	1.40000E 03	1.40000E 03	1.89160E-05	1.89160E-05
1004	5	1.89160E-05	0.32	0.32	0.32	2.61910E 02
1011	5	2.61910E 02	2.61910E 02	0.5711	0.5711	0.5711
1065	5	1.26620E 12	1.26620E 12	1.26620E 12	1.26620E 12	0.0
1073	5	6.82000E 11	6.82000E 11	6.82000E 11	6.82000E 11	0.0
1081	5	2700.0	2700.0	2700.0	2700.0	0.0
1082	5	280.0	280.0	280.0	280.0	0.0
1097	5	270.0	270.0	270.0	270.0	0.0
1107	5	11.01618	3.10650E-05	3.73280E-09		

Table 4.1-8 (continued)

PAGE 3

TIME<10:12:04> DAIF<03/27/81>
J3781,LF,RFAC,RP,C7103,DATA

1117	2	8.8052	9.3000E-05								
1117	5	2.1	0.288	2.5200E-02	5.8300E-12	5.7500E 00					
1122	5	5.0300E-02	2.9100E-13	0.0	0.0	0.0					
1272	1	15.0									
1135	5	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0				*****	
1140	5	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0				* IF	
1171	5	0.0	1.0	2.0	3.0	4.0				* USF	
1174	5	5.0	6.0	7.0	8.0	100.0				* KUN	
1247	5	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0				* CHD-	
1212	5	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0				* WRITE	
1243	5	0.0	1.0	2.0	3.0	4.0				* MODEL	
1248	5	5.0	6.0	7.0	8.0	100.0				*****	
-1											
PRIPIN	14	1	0								
1	4	3.5000E-01	1.2000E-02	1.4000E-04	1.9717						
45	5	1.8750E-01	2.0000E-01	5.0000E-02	5.0000E-03	1.0000E-03					
50	5	7.5000E-02	1.0000E-02	2.0000E-03	5.0000E-02	1.0000E 01					
55	5	2.5000E 01	2.4500E 02	3.7500E 02	7.0700E 02	9.0500E 02					
60	5	7.0000E 07	4.2250E 05	1.0000E-01	3.1240E-01	6.1328E 03					
65	5	3.0787E 01	1.0404E 04	1.2309E 04	2.23732E 01	1.0000E 00					
70	3	1.0000E 04	0.0	9.1260E 08							
153	2	3.9700E 02	2.5000E-01								
-1											
INPCIN	51	1	0								
1	10	11	20	30	4	3	5	2	3	0	0
11	1	1									
17	10	169	9	1	1	3	2	1	4	1	0 RIC
27	2	1	1								
82	7	1	1	0	1	0	0	0			HEXZ-3D
94	5	1	1	0	2	0					
104	10	1	1	0	0	1	2	1	1	0	1
114	1	4									
120	10	1	-3	1	0	1	1	0	0	1	3
130	5	0	0	0	0	15					
140	10	0	0	0	10	18	19	19	10	0	0
150	2	0	0								
105	1	0									
121	1	-1									SLUMPY FAILURE
-1											
INPCIN	51	2	1								
18	1	9									RIC
-1											
INPCIN	51	3	2								
18	1	18									RIC
-1											
INPCIN	51	4	3								
18	1	4									RIC
-1											
INPCIN	51	5	4								
18	1	12									RIC
-1											
INPCIN	51	6	5								
18	1	12									RIC
-1											
INPCIN	51	7	6								
18	1	15									RIC
-1											

PNC TN941 82-74(2)

[illegible]

[illegible]

Table 4.1-8 (continued)

PAGE 6

TIME<10:12:04> DATE<03/27/81>
J3781,LF,KFAC,PP,02103,DATA

20	5	1.013E+03	9.14444E+01	5.03858E+01	2.80822E+01	1.73359E+01	MHEAC
29	3	1.10567	-3.56599E-04	-2.61734E-04			
32	5	1.78063E-04	9.99467E-06	1.81354E-05	2.22124E-05	3.03008E-05	
37	5	1.44008E-05	4.55848E-05	5.02419E-05	5.18705E-05	5.03267E-05	
42	5	4.41101E-05	4.00797E-05	3.29390E-05	2.53274E-05	1.81789E-05	
47	5	1.1/553E-05	8.96422E-06	3.82120E-06	1.10447E-06	2.19062E-07	
54	5	-2.96542E-01	-5.09742E-01	-1.48043E+00	-1.96107E+00	4.81886E-02	
61	5	1.945/7E+00	3.42154E+00	4.81172E+00	5.34034E+00	5.20195E+00	
64	5	4.67070E+00	3.36966E+00	2.02394E+00	4.16509E-01	-6.57841E-01	
71	5	-1.80471E+00	-1.34120E+00	-4.69898E-01	-4.09762E-01	-2.50404E-01	
80	5	5.87988E-02	-1.40592E-01	-3.99959E-01	5.67078E+00	6.41678E+00	
85	5	8.04115E+00	9.32328E+00	1.01913E+01	1.05614E+01	1.03919E+01	
90	5	9.71850E+00	8.44540E+00	7.32814E+00	5.88914E+00	4.42301E+00	
95	5	3.40544E+00	-2.50278E-03	4.59683E-02	9.71601E-02	8.15172E-02	
149	5	1.93261E-01	2.75435E-01	5.43251E-01	3.17889E-01	-6.78318E-01	
154	5	-1.45817E+00	-2.49734E+00	-3.07598E+00	-3.32705E+00	-3.22958E+00	
159	5	-2.95157E+00	-2.27244E+00	-1.57466E+00	-8.39923E-01	-1.46264E-01	
164	5	4.42059E-01	5.27944E-01	2.99547E-01	1.88009E-01	1.02658E-01	
-1							
POWLOC	42	3	2				RIC
5	5	4.44737E+01	7.55784E+01	1.08466E+02	1.16505E+03	1.39115E+03	
10	5	1.40868E+03	1.77425E+03	1.87926E+03	1.91897E+03	1.89348E+03	
15	5	1.81165E+03	1.88474E+03	1.51743E+03	1.31405E+03	1.08177E+03	
20	5	8.39866E+02	7.56765E+01	4.16974E+01	2.32399E+01	1.43467E+01	
29	3	0.947936	-5.00940E-04	-3.40738E-04			MHEAC
32	5	4.91224E-04	1.35808E-05	2.52392E-05	3.14809E-05	4.33245E-05	
37	5	5.54494E-05	6.60894E-05	7.30120E-05	7.50604E-05	7.18064E-05	
42	5	4.68234E-05	5.59168E-05	4.54337E-05	3.40514E-05	2.33973E-05	
47	5	1.47314E-05	1.10624E-05	4.59631E-06	1.37095E-06	2.90032E-07	
54	5	-2.79621E-01	-5.20292E-01	-1.39800E+00	-1.80975E+00	-3.32731E-01	
61	5	1.07214E+00	2.37637E+00	3.30434E+00	3.75045E+00	3.67440E+00	
64	5	3.12383E+00	2.89755E+00	1.30221E+00	2.26723E-01	-7.19957E-01	
71	5	-1.55575E+00	-1.10302E+00	-4.80103E-01	-2.64210E-01	-1.65097E-01	
80	5	5.16721E-02	-3.55734E-02	-1.57821E-01	4.22157E+00	4.84674E+00	
85	5	4.10283E+00	7.10978E+00	7.80194E+00	8.11087E+00	8.00873E+00	
90	5	7.51548E+00	6.68840E+00	5.66428E+00	4.54713E+00	3.38350E+00	
95	5	2.84739E+00	8.59054E-02	6.90037E-02	6.32937E-02	5.36998E-02	
149	5	1.04967E-01	2.55400E-01	5.15022E-01	3.67351E-01	-3.77097E-01	
154	5	-1.12161E+00	-1.76846E+00	-2.22284E+00	-2.42309E+00	-2.34567E+00	
159	5	-2.05493E+00	-1.60381E+00	-1.08214E+00	-5.16823E-01	-6.70639E-03	
164	5	4.39541E-01	4.63379E-01	2.21294E-01	1.22001E-01	6.77676E-02	
-1							
POWLOC	42	4	3				RIC
5	5	9.25014E+01	9.27683E+01	1.33489E+02	1.45382E+03	1.69465E+03	
10	5	1.94573E+03	2.13443E+03	2.25104E+03	2.29124E+03	2.25726E+03	
15	5	2.15791E+03	2.00461E+03	1.80620E+03	1.57105E+03	1.30781E+03	
20	5	1.02844E+03	9.27671E+01	5.11145E+01	2.84883E+01	1.75867E+01	
29	3	1.19937	-2.52987E-04	-1.86425E-04			MHEAC
32	5	2.77751E-04	7.30798E-06	1.32227E-05	1.61322E-05	2.19403E-05	
37	5	2.77423E-05	3.27898E-05	3.60057E-05	3.49614E-05	3.56302E-05	
42	5	3.24284E-05	2.80242E-05	2.29115E-05	1.75098E-05	1.24784E-05	
47	5	8.01294E-06	6.06039E-06	2.56701E-06	7.61374E-07	1.47048E-07	
54	5	-3.14585E-01	-5.20402E-01	-1.53177E+00	-2.00778E+00	-2.03722E-01	
61	5	2.27785E+00	4.10041E+00	5.36650E+00	5.91048E+00	5.72534E+00	
64	5	1.02501E+00	3.69634E+00	2.23562E+00	7.21007E-01	-6.42353E-01	
71	5	-1.85437E+00	-1.88422E+00	-6.88167E-01	-4.13361E-01	-2.54012E-01	
80	5	6.19734E-02	-1.46958E-01	-4.65222E-01	6.12051E+00	6.89544E+00	

Table 4.1-8 (continued)

PAGE 7

TIME<10:12:04> DATE<03/27/81>
J3781.1F MFAC.DP.C2103.001A

65	5	8.41995E+00	9.96420E+00	1.08400E+01	1.12135E+01	1.09883E+01	
90	5	1.02328E+01	9.06408E+00	7.46128E+00	6.14044E+00	4.60121E+00	
95	5	3.73790E+00	4.28484E-03	7.05283E-07	9.80377E-07	8.27090E-02	
149	5	1.47205E-01	7.87208E-01	5.60547E-01	2.98470E-01	-7.91927E-01	
154	5	1.85743E+00	-2.76164E+00	-3.37565E+00	-3.62334E+00	-3.50144E+00	
159	5	1.07475E+00	-2.44013E+00	-1.68630E+00	-8.98990E-01	-1.61435E-01	
164	5	4.77727E-01	5.44357E-01	3.09323E-01	1.90311E-01	1.04190E-01	
-1							
POWTRC	62	5	4				PIC
5	5	7.44758E+01	8.35473E+01	1.20796E+02	1.29748E+03	1.56697E+03	
10	5	1.82472E+03	2.02177E+03	2.14973E+03	2.20457E+03	2.18739E+03	
15	5	2.10444E+03	1.96422E+03	1.77394E+03	1.54142E+03	1.27564E+03	
20	5	9.01250E+02	8.94108E+01	4.92651E+01	2.74578E+01	1.69504E+01	
29	3	1.04164	-2.24784E-04	-1.57048E-04			MFAC
32	5	1.93842E-04	4.01262E-04	1.18877E-05	1.33471E-05	1.81306E-05	
37	5	2.35427E-05	2.81384E-05	3.14288E-05	3.27904E-05	3.20967E-05	
42	5	2.00002E-05	2.58178E-05	2.11838E-05	1.61657E-05	1.14981E-05	
47	5	7.53561E-04	4.48243E-04	2.49424E-04	8.25790E-07	1.82523E-07	
54	5	-1.44765E-01	-5.09317E-01	-1.61920E+00	-2.28578E+00	-1.18020E+00	
61	5	-1.72851E-01	7.25420E-01	1.39009E+00	1.75863E+00	1.75494E+00	
64	5	1.44987E+00	9.46466E-01	2.75463E-01	-4.49572E-01	-1.10732E+00	
71	5	-1.74564E+00	-1.20849E+00	-4.57040E-01	-2.25933E-01	-1.36351E-01	
80	5	4.11370E-02	3.35417E-02	9.64908E-02	4.78555E+00	5.89857E+00	
85	5	7.47044E+00	9.12702E+00	1.01490E+01	1.06183E+01	1.04862E+01	
90	5	9.77961E+00	8.67515E+00	7.26645E+00	5.71793E+00	4.14496E+00	
95	5	3.13710E+00	1.42024E-01	7.48387E-02	5.26311E-02	4.39447E-02	
149	5	7.47545E-02	2.38392E-01	5.96693E-01	6.04022E-01	2.56882E-02	
154	5	-5.24151E-01	-1.01030E+00	-1.35563E+00	-1.52695E+00	-1.51511E+00	
159	5	-1.34052E+00	-1.04072E+00	-6.58959E-01	-2.44947E-01	1.50087E-01	
164	5	5.12370E-01	4.42441E-01	2.01678E-01	1.01510E-01	5.59210E-02	
-1							
POWTRC	62	5	5				PIC
5	5	5.60473E+01	4.38518E+01	9.18797E+01	9.86887E+02	1.19336E+03	
10	5	1.37024E+03	1.53979E+03	1.63507E+03	1.67746E+03	1.65300E+03	
15	5	1.58391E+03	1.47422E+03	1.32975E+03	1.15544E+03	9.58455E+02	
20	5	7.64448E+02	4.73798E+01	3.70984E+01	2.06766E+01	1.27643E+01	
29	3	0.825682	-1.33873E-04	-9.78880E-05			MFAC
32	5	1.03622E-04	3.26166E-04	6.61358E-04	7.74550E-04	1.09700E-05	
37	5	1.42789E-05	1.71844E-05	1.91708E-05	1.94038E-05	1.93149E-05	
42	5	1.76559E-05	1.53147E-05	1.25409E-05	9.58524E-04	6.81004E-04	
47	5	4.34438E-04	3.54350E-04	1.46667E-04	4.52023E-07	1.01849E-07	
54	5	-1.02884E-01	-3.72921E-01	-1.24520E+00	-2.17536E+00	-2.06964E+00	
61	5	-2.03550E+00	-1.95793E+00	-1.84761E+00	-1.71298E+00	-1.53362E+00	
64	5	-1.37321E+00	-1.30745E+00	-1.30185E+00	-1.32007E+00	-1.32224E+00	
71	5	-1.37299E+00	-7.96579E-01	-2.81100E-01	-1.30891E-01	-7.71588E-02	
80	5	2.73349E-02	5.27407E-02	1.76490E-01	3.07869E+00	3.40754E+00	
85	5	5.12878E+00	6.12780E+00	6.80236E+00	7.07417E+00	6.90459E+00	
90	5	6.30777E+00	5.56994E+00	4.62336E+00	3.60780E+00	2.59274E+00	
95	5	1.02152E+00	1.36939E-01	5.28807E-02	3.20104E-02	2.49601E-02	
149	5	4.81867E-02	1.70950E-01	4.77697E-01	6.88382E-01	5.61274E-01	
154	5	4.53969E-01	3.47881E-01	2.59942E-01	1.90701E-01	1.36368E-01	
159	5	1.14728E-01	1.45939E-01	2.08352E-01	2.86167E-01	3.62100E-01	
164	5	4.45981E-01	3.11265E-01	1.24335E-01	5.95279E-02	3.16797E-02	
-1							
POWTRC	62	7	4				PIC
5	5	7.14147E+01	8.06970E+01	1.15831E+02	1.24414E+03	1.47837E+03	
10	5	1.70338E+03	1.87246E+03	1.97555E+03	2.00679E+03	1.96680E+03	

Table 4.1-8 (continued)

PAGE 8

TIME<10:12:04> DATA<05/27/81>
J3781.11 MFAC.WP.C7105.DA1A

15	5	1.86860E+03	1.72910E+03	1.55794E+03	1.34404E+03	1.10876E+03	
20	5	4.18644E+02	7.77401E+01	4.28346E+01	2.38736E+01	1.47379E+01	
29	3	0.087405	-4.53285E-04	-3.29005E-04			MFAC
32	5	4.03430E-04	1.32962E-05	2.43744E-05	3.01308E-05	4.12628E-05	
37	5	5.24904E-05	6.20464E-05	6.78167E-05	6.85160E-05	6.38108E-05	
42	5	5.61271E-05	4.77570E-05	3.85977E-05	2.89838E-05	2.00836E-05	
47	5	1.26352E-04	9.38957E-06	3.86948E-06	1.16731E-06	2.51457E-07	
54	5	-2.43557E-01	-4.64321E-01	-1.35638E+00	-1.85458E+00	-2.31797E-01	
61	5	1.32933E+00	2.73667E+00	3.74121E+00	4.19341E+00	4.07259E+00	
64	5	4.60533E+00	2.48353E+00	1.41835E+00	2.93650E-01	-7.11975E-01	
71	5	-1.58459E+00	-1.11511E+00	-4.75759E-01	-2.66827E-01	-1.76185E-01	
80	5	5.01541E-02	-0.13050E-02	-2.70828E-01	4.74406E+00	5.41556E+00	
85	5	6.80129E+00	7.84248E+00	8.62438E+00	8.92829E+00	8.78274E+00	
90	5	8.20824E+00	7.25580E+00	6.10535E+00	4.87309E+00	3.62121E+00	
95	5	2.87014E+00	8.00321E-02	4.48879E-02	6.30187E-02	5.73352E-02	
102	5	1.12628E-01	2.43258E-01	4.97594E-01	3.50078E-01	-4.63691E-01	
104	5	-1.27436E+00	-1.97412E+00	-2.45207E+00	-2.63352E+00	-2.50018E+00	
109	5	-2.11547E+00	-1.63938E+00	-1.09523E+00	-5.20300E-01	1.55692E-02	
164	5	4.45388E-01	4.58649E-01	2.24983E-01	1.25137E-01	7.26139E-02	
-1							
62	7						RIC
5	5	7.76944E+01	8.75754E+01	1.26017E+02	1.35356E+03	1.40230E+03	
10	5	1.84113E+03	2.01955E+03	2.12697E+03	2.15730E+03	2.11043E+03	
15	5	2.00174E+03	1.84971E+03	1.65898E+03	1.43338E+03	1.17968E+03	
20	5	2.15741E+02	8.25992E+01	4.55123E+01	2.53660E+01	1.56592E+01	
29	3	1.06136	-5.32563E-04	-3.89816E-04			MFAC
32	5	6.07482E-04	1.60933E-05	2.92429E-05	3.59057E-05	4.89371E-05	
37	5	6.12561E-05	7.30143E-05	7.96054E-05	8.04051E-05	7.50301E-05	
42	5	6.04972E-05	5.61244E-05	4.51410E-05	3.35685E-05	2.28934E-05	
47	5	1.42453E-05	1.05551E-05	4.33885E-06	1.30788E-06	2.81564E-07	
54	5	-2.84998E-01	-4.91463E-01	-1.44252E+00	-1.93272E+00	1.38531E-02	
61	5	1.26175E+00	3.50946E+00	4.68101E+00	5.21921E+00	5.09145E+00	
64	5	4.36777E+00	3.28390E+00	1.99544E+00	6.32788E-01	-6.33351E-01	
71	5	-1.66444E+00	-1.19579E+00	-5.07124E-01	-2.91775E-01	-1.98683E-01	
80	5	5.43415E-02	-1.36539E-01	-3.84549E-01	5.51343E+00	6.23931E+00	
85	5	7.90816E+00	9.02857E+00	9.82770E+00	1.01227E+01	9.88165E+00	
90	5	2.15469E+00	8.06172E+00	6.77684E+00	5.41414E+00	4.04688E+00	
95	5	3.22729E+00	6.91314E-02	6.32390E-02	6.79461E-02	6.45927E-02	
102	5	1.32844E-01	2.65366E-01	5.28492E-01	3.19161E-01	-6.46244E-01	
104	5	-1.54736E+00	-2.61121E+00	-2.96615E+00	-3.18510E+00	-3.04629E+00	
109	5	-2.62684E+00	-2.86581E+00	-1.60828E+00	-7.11668E-01	-4.53453E-02	
164	5	4.84547E-01	4.95577E-01	2.63382E-01	1.38049E-01	8.16370E-02	
-1							
62	9						RIC
5	5	8.21844E+01	9.26367E+01	1.33299E+02	1.43179E+03	1.49096E+03	
10	5	1.05874E+03	2.12132E+03	2.22665E+03	2.24691E+03	2.18065E+03	
15	5	2.05164E+03	1.88786E+03	1.69198E+03	1.46636E+03	1.21608E+03	
20	5	2.40782E+02	8.57404E+01	4.72539E+01	2.63367E+01	1.62584E+01	
29	3	1.10219	-2.26278E-04	-1.67743E-04			MFAC
32	5	2.71257E-04	7.28589E-06	1.31832E-05	1.61164E-05	2.18718E-05	
37	5	2.75504E-05	3.22437E-05	3.47694E-05	3.44267E-05	3.09198E-05	
42	5	2.62149E-05	2.19785E-05	1.77317E-05	1.34531E-05	9.53273E-06	
47	5	6.00002E-06	4.54360E-06	1.87653E-06	5.75960E-07	1.26177E-07	
54	5	-3.17900E-01	-5.17511E-01	-1.52114E+00	-1.98711E+00	2.32235E-01	
61	5	2.32118E+00	4.16351E+00	5.45154E+00	6.00229E+00	5.72303E+00	
64	5	4.62063E+00	3.44043E+00	2.06104E+00	6.50518E-01	-6.24535E-01	
71	5	-1.76754E+00	-1.26697E+00	-5.38061E-01	-3.12080E-01	-2.19180E-01	

Table 4.1-8 (continued)

PAGE 9

TIME<10:12:04> DATE<03/27/81>
J3781.LF.NFAC.RP.C2105.DA1A

80	5	4.17491E-02	-1.67374E-01	-4.66730E-01	6.10383E+00	6.86617E+00	
85	5	8.56788E+00	9.87464E+00	1.07182E+01	1.10105E+01	1.07517E+01	
90	5	0.07919E+00	8.75485E+00	7.33077E+00	5.83073E+00	4.33925E+00	
95	5	3.42549E+00	6.55001E-02	6.39660E-02	7.12684E-02	7.12008E-02	
140	5	1.48904E-01	2.85835E-01	5.56740E-01	2.91584E-01	-7.99860E-01	
154	5	-1.86521E+00	-7.76434E+00	-3.35940E+00	-3.55489E+00	-3.29230E+00	
159	5	-2.69845E+00	-2.07024E+00	-1.39281E+00	-7.00946E-01	-5.31416E-02	
164	5	5.14248E-01	5.29742E-01	2.61346E-01	1.48712E-01	9.02190E-02	
-1							
POWTRC	62	10	9				RIC
5	5	8.53098E+01	2.61593E+01	1.38368E+02	1.48623E+03	1.75426E+03	
10	5	2.01102E+03	2.20167E+03	2.31560E+03	2.34828E+03	2.30258E+03	
15	5	2.19071E+03	2.02766E+03	1.82799E+03	1.58453E+03	1.31974E+03	
20	5	1.03867E+03	9.36884E+01	5.16221E+01	2.87713E+01	1.77613E+01	
29	5	1.16424	-2.63425E-04	-1.95453E-04			MREAC
32	5	3.00134E-04	7.87859E-04	1.42402E-05	1.73563E-05	2.35385E-05	
37	5	2.96813E-05	3.48947E-05	3.80443E-05	3.86934E-05	3.88003E-05	
42	5	3.30546E-05	2.83234E-05	2.30689E-05	1.76615E-05	1.76712E-05	
47	5	8.12910E-06	6.12940E-06	2.59198E-06	7.50286E-07	1.49635E-07	
51	5	-3.34750E-01	-5.23156E-01	-1.59037E+00	-2.11624E+00	2.54814E-01	
61	5	2.47094E+00	4.40708E+00	5.73641E+00	6.28500E+00	6.05615E+00	
64	5	5.14590E+00	3.88612E+00	2.37207E+00	8.14782E-01	-5.89980E-01	
71	5	-1.85469E+00	-1.38743E+00	-6.62346E-01	-4.14492E-01	-2.59566E-01	
80	5	6.35853E-02	-1.93078E-01	-5.20730E-01	6.56643E+00	7.38114E+00	
85	5	9.20627E+00	1.06101E+01	1.15153E+01	1.18320E+01	1.15277E+01	
90	5	1.06666E+01	9.39243E+00	7.89524E+00	6.30324E+00	4.71221E+00	
95	5	3.83070E+00	-2.96330E-03	6.61492E-02	9.76496E-02	8.45090E-02	
140	5	1.57440E-01	2.94449E-01	5.79485E-01	3.03824E-01	-8.64162E-01	
154	5	-2.00001E+00	-2.95582E+00	-3.59211E+00	-3.82792E+00	-3.66597E+00	
159	5	-3.19116E+00	-2.51916E+00	-1.74099E+00	-9.38255E-01	-1.86253E-01	
164	5	4.73584E-01	5.51671E-01	3.08895E-01	1.91785E-01	1.06541E-01	
-1							
POWTRC	62	11	10				RIC
5	5	4.24928E+01	7.04405E+01	1.01360E+02	1.08873E+03	1.30568E+03	
10	5	1.51344E+03	1.67092E+03	1.76955E+03	1.80423E+03	1.77425E+03	
15	5	1.69147E+03	1.57027E+03	1.41421E+03	1.22731E+03	1.01566E+03	
20	5	7.89773E+02	7.12378E+01	3.92517E+01	2.18767E+01	1.35051E+01	
29	5	0.888604	-2.85156E-04	-2.02316E-04			MREAC
32	5	2.60457E-06	7.51555E-06	1.43099E-05	1.80234E-05	2.48380E-05	
37	5	3.15824E-05	3.80357E-05	4.19158E-05	4.77514E-05	4.02039E-05	
42	5	3.56951E-05	3.06347E-05	2.49860E-05	1.89905E-05	1.34784E-05	
47	5	8.60347E-06	6.44147E-06	2.66458E-06	8.71259E-07	1.82089E-07	
51	5	-1.04518E-01	-4.85091E-01	-1.36116E+00	-1.82903E+00	-5.34636E-01	
61	5	7.20467E-01	1.86068E+00	2.69454E+00	3.12016E+00	3.08121E+00	
64	5	2.60744E+00	1.89563E+00	1.03683E+00	1.19344E-01	-7.12036E-01	
71	5	-1.45141E+00	-1.03280E+00	-4.25735E-01	-2.25548E-01	-1.46061E-01	
80	5	4.53399E-02	-1.15467E-02	-7.97126E-02	3.80843E+00	4.40798E+00	
85	5	5.56046E+00	6.48372E+00	7.11317E+00	7.38146E+00	7.26622E+00	
90	5	4.79397E+00	6.02508E+00	5.08708E+00	4.06771E+00	3.03090E+00	
95	5	2.41385E+00	9.74764E-02	6.25871E-02	5.76252E-02	4.72686E-02	
140	5	8.87074E-02	2.35434E-01	5.04015E-01	4.10165E-01	-2.47744E-01	
154	5	-0.04590E-01	-1.48493E+00	-1.89170E+00	-2.07351E+00	-2.00067E+00	
159	5	-1.71973E+00	-1.34438E+00	-8.97263E-01	-4.71362E-01	2.85805E-02	
164	5	4.14655E-01	4.11551E-01	1.95340E-01	1.04288E-01	5.99873E-02	
-1							
POWTRC	62	12	11				RIC
5	5	8.61099E+01	9.71626E+01	1.39812E+02	1.50174E+03	1.77071E+03	

PNC TN941 82-74(2)

Table 4.1-8 (continued)

PAGE 10

TIME<10:12:04> DAIF<03/27/81>
 JS781.LF.WFAC.DP.C2103.DA1A

10	5	2.02463E+03	2.71281E+03	2.31647E+03	2.32928E+03	2.25080E+03
15	5	2.10800E+03	1.93253E+03	1.72810E+03	1.49644E+03	1.24149E+03
20	5	9.71337E+02	8.76141E+01	4.82752E+01	2.69059E+01	1.46098E+01
25	3	1.1397E	-4.84113E-04	-3.60684E-04		
32	5	6.15667E-06	1.61226E-05	2.91156E-05	3.55171E-05	4.80417E-05
37	5	6.02847E-05	7.02169E-05	7.52317E-05	7.38012E-05	6.54591E-05
42	5	6.47816E-05	4.55137E-05	3.65594E-05	2.77356E-05	1.97155E-05
47	5	1.25115E-05	9.39478E-06	3.87241E-06	1.19302E-06	2.63547E-07
54	5	-3.44627E-01	-5.36453E-01	-1.60940E+00	-2.10336E+00	3.50237E-01
61	5	2.44407E+00	4.44541E+00	6.01419E+00	6.56515E+00	6.24139E+00
66	5	5.15385E+00	3.83777E+00	2.36677E+00	8.60609E-01	-5.14839E-01
71	5	-1.70179E+00	-1.26103E+00	-5.40383E-01	-3.16387E-01	-2.28664E-01
80	5	6.56487E-02	-1.97393E-01	-5.38760E-01	6.68904E+00	7.49817E+00
85	5	9.33273E+00	1.07235E+01	1.15950E+01	1.18404E+01	1.15161E+01
90	5	1.00054E+01	9.23510E+00	7.68561E+00	6.08946E+00	4.52417E+00
95	5	3.64058E+00	5.57819E-02	6.02490E-02	7.12404E-02	7.42423E-02
140	5	1.62075E+01	3.02108E+01	5.86338E+01	2.88547E+01	-9.14127E-01
154	5	-2.07966E+00	-3.05121E+00	-3.67682E+00	-3.85591E+00	-3.54981E+00
159	5	-2.91307E+00	-2.24593E+00	-1.52894E+00	-7.96908E-01	-1.06871E-01
164	5	5.04856E-01	5.37797E-01	2.65159E-01	1.51941E-01	9.41994E-02
-1						
62	13	17				
5	5	7.19756E+01	8.10750E+01	1.16660E+02	1.25306E+03	1.50943E+03
10	5	1.75417E+03	1.93935E+03	2.05519E+03	2.09535E+03	2.05752E+03
15	5	1.95824E+03	1.81707E+03	1.63667E+03	1.42094E+03	1.17619E+03
20	5	9.13638E+02	8.74107E+01	4.54078E+01	2.53078E+01	1.56232E+01
25	3	1.02925	-3.97715E-04	-2.80727E-04		
32	5	3.94977E-06	1.17445E-05	2.27030E-05	2.54366E-05	3.45776E-05
37	5	4.43550E-05	5.30194E-05	5.84639E-05	5.95430E-05	5.56188E-05
42	5	4.90332E-05	4.20326E-05	3.42947E-05	2.61707E-05	1.86560E-05
47	5	1.22077E-05	1.04490E-05	4.30489E-06	1.31718E-06	2.92274E-07
54	5	-1.67507E-01	-5.07458E-01	-1.51809E+00	-2.11367E+00	-1.13355E+00
61	5	-2.43650E-01	5.79257E-01	1.21127E+00	1.59582E+00	1.73986E+00
66	5	1.57853E+00	1.11687E+00	4.95410E-01	-1.87197E-01	-8.22104E-01
71	5	-1.43028E+00	-1.00611E+00	-3.79045E-01	-1.87061E-01	-1.16633E-01
80	5	4.16301E+02	3.66077E+02	8.67288E+02	4.42921E+00	5.44518E+00
85	5	2.06853E+00	8.38719E+00	9.78397E+00	9.63910E+00	9.39018E+00
90	5	8.64077E+00	7.57535E+00	6.30955E+00	4.95136E+00	3.58798E+00
95	5	2.71786E+00	1.37559E-01	6.32303E-02	4.44897E-02	3.77377E-02
140	5	7.54333E-02	2.34427E-01	5.59887E-01	5.58213E-01	4.08147E-02
154	5	-6.55633E-01	-8.91746E-01	-1.70846E+00	-1.37199E+00	-1.37514E+00
159	5	-1.22509E+00	-9.59438E-01	-4.21881E-01	-2.54450E-01	1.00064E-01
164	5	4.20256E-01	3.91546E-01	1.70067E-01	8.57047E-02	4.78686E-02
-1						
62	14	13				
5	5	5.75518E+01	4.48711E+01	9.33663E+01	1.00265E+03	1.21569E+03
10	5	1.41961E+03	1.57444E+03	1.67976E+03	1.72640E+03	1.71706E+03
15	5	1.65586E+03	1.54877E+03	1.40139E+03	1.22039E+03	1.01274E+03
20	5	2.89107E+02	2.11775E+01	3.92186E+01	2.18583E+01	1.34937E+01
25	3	0.95637	-2.15026E-04	-1.56239E-04		
32	5	1.52667E-06	4.92586E-06	1.01133E-05	1.19065E-05	1.68606E-05
37	5	2.20490E-05	2.68047E-05	3.01387E-05	3.16637E-05	3.12346E-05
42	5	2.70171E-05	2.54493E-05	2.09779E-05	1.60894E-05	1.14567E-05
47	5	7.35448E-06	6.13333E-06	2.52221E-06	7.81354E-07	1.76541E-07
54	5	-1.01421E-01	-3.78565E-01	-1.29148E+00	-2.26633E+00	-2.16497E+00
61	5	-2.14793E+00	-2.07649E+00	-2.00247E+00	-1.92512E+00	-1.84297E+00
66	5	-1.77041E+00	-1.72448E+00	-1.69414E+00	-1.66338E+00	-1.60496E+00

MRFAC

BIC

MRFAC

BIC

MRFAC

Table 4.1-8 (continued)

PAGE 11

TIME:10:12:04> WAF<03/27/81>
J3781.1F.RFAC.PP.C2103.DA1A

71	5-1.40437E+00-9.20467E-01-3.25428E-01-1.50724E-01-8.67411E-02	
80	5 2.70719E-02 5.42210E-02 1.86630E-01 3.19269E+00 4.07294E+00	
85	5 5.36438E+00 6.43673E+00 7.19665E+00 7.55274E+00 7.46875E+00	
90	5 6.90069E+00 6.17466E+00 5.15954E+00 4.04049E+00 2.90711E+00	
95	5 2.14980E+00 1.61988E-01 6.21734E-02 3.68238E-02 2.80208E-02	
149	5 4.56449E-02 1.73817E-01 4.95472E-01 7.17544E-01 5.88040E-01	
154	5 4.79161E-01 3.73585E-01 2.91422E-01 2.37033E-01 2.13016E-01	
159	5 2.20848E-01 2.59841E-01 3.21053E-01 3.88695E-01 4.51267E-01	
164	5 5.22341E-01 3.58699E-01 1.42970E-01 6.77227E-02 3.56166E-02	
-1		
PO4Ti.C	02 15 14	PIC
5	5 4.70730E+01 5.30596E+01 7.63501E+01 8.20086E+02 9.90537E+02	
10	5 1.14678E+03 1.29847E+03 1.38681E+03 1.42916E+03 1.42584E+03	
15	5 1.37030E+03 1.29343E+03 1.17285E+03 1.02317E+03 8.50433E+02	
20	5 6.43734E+02 5.98688E+01 3.29875E+01 1.83554E+01 1.13498E+01	
29	5 0.71050E-01 -1.50754E-04 -1.11033E-04	MREAC
32	5 0.67417E-07 3.20467E-06 6.69545E-06 8.01643E-06 1.14914E-05	
37	5 1.51461E-05 1.84946E-05 2.09127E-05 2.21140E-05 2.19825E-05	
42	5 2.05736E-05 1.81448E-05 1.50178E-05 1.15558E-05 8.24291E-06	
47	5 5.26992E-06 4.34820E-06 1.78743E-06 5.55701E-07 1.26034E-07	
54	5 -6.00949E-02 -2.83216E-01 -9.83458E-01 -1.82154E+00 -1.94614E+00	
61	5 -2.13069E+00 -2.25717E+00 -2.33228E+00 -2.34651E+00 -2.29838E+00	
66	5 -2.19528E+00 -2.05127E+00 -1.87955E+00 -1.68865E+00 -1.47840E+00	
71	5 -1.33368E+00 -2.23879E-01 -2.52661E-01 -1.13473E-01 -6.27474E-02	
80	5 1.89418E-02 4.84935E-02 1.68745E-01 2.25614E+00 2.92730E+00	
85	5 3.86526E+00 4.68979E+00 5.27086E+00 5.55909E+00 5.52674E+00	
90	5 5.17193E+00 4.40888E+00 3.85870E+00 3.02217E+00 2.17037E+00	
95	5 1.54928E+00 1.40084E-01 5.18575E-02 2.85534E-02 2.03004E-02	
149	5 3.02254E-02 1.28211E-01 3.79825E-01 5.96984E-01 5.82174E-01	
154	5 5.84497E-01 5.77150E-01 5.67877E-01 5.54268E-01 5.38640E-01	
159	5 5.21793E-01 5.04706E-01 4.89401E-01 4.71708E-01 4.51083E-01	
164	5 4.45262E-01 2.82893E-01 1.10135E-01 5.07873E-02 2.57678E-02	
-1		
PO4Ti.C	02 14 15	PIC
5	5 6.13383E+01 6.91391E+01 9.94877E+01 1.06861E+03 1.29859E+03	
10	5 1.51863E+03 1.68824E+03 1.80075E+03 1.85302E+03 1.84573E+03	
15	5 1.78260E+03 1.46913E+03 1.51138E+03 1.31644E+03 1.09212E+03	
20	5 8.50014E+02 7.66712E+01 4.22457E+01 2.35454E+01 1.45352E+01	
29	5 0.91968E-01 -7.90664E-05 -5.56678E-05	MREAC
32	5 5.81544E-07 1.91516E-06 3.90569E-06 4.67440E-06 6.14166E-06	
37	5 7.99033E-06 9.70160E-06 1.09241E-05 1.15047E-05 1.13887E-05	
42	5 1.06167E-05 9.33473E-06 7.71036E-06 5.92686E-06 4.25099E-06	
47	5 2.81059E-06 2.39771E-06 9.09033E-07 3.08508E-07 6.88977E-08	
54	5 -1.11448E-01 -4.10436E-01 -1.34110E+00 -2.08354E+00 -1.57610E+00	
61	5 -1.14039E+00 -7.22317E-01 -4.01547E-01 -2.11013E-01 -1.61850E-01	
66	5 -2.60797E-01 -4.43445E-01 -7.15361E-01 -1.01504E+00 -1.28181E+00	
71	5 -1.56743E+00 -1.00506E+00 -3.71354E-01 -1.74058E-01 -1.00998E-01	
80	5 2.93690E-02 5.18130E-02 1.58594E-01 3.44877E+00 4.34493E+00	
85	5 5.70006E+00 6.82835E+00 7.63520E+00 8.02633E+00 7.96249E+00	
90	5 7.47228E+00 6.43570E+00 5.56828E+00 4.38293E+00 3.17566E+00	
95	5 2.44184E+00 1.59323E-01 6.71608E-02 4.18293E-02 3.25175E-02	
149	5 5.01504E-02 1.86805E-01 5.00360E-01 6.10130E-01 3.04757E-01	
154	5 1.50442E-02 -2.44478E-01 -4.35901E-01 -5.41587E-01 -5.54061E-01	
159	5 -4.77889E-01 -3.34783E-01 -1.40043E-01 7.47620E-02 2.83335E-01	
164	5 4.80779E-01 3.83081E-01 1.61227E-01 7.80259E-02 4.14277E-02	
-1		
PMATCH	03 1 0	

PNC IN941 82-74(2)

Table 4.1-8 (continued)

PAGE 12

TIME<10:12:04> DATE<03/27/81>
J3781.11 AFAC.DP.C2103.001A

1	5	0.18	0.61	1.32	E-04	0.3705	1.14	
4	5	3.255	3.10	E-10	5.48	E 05 1.70	E-12	0.85
11	1	1.0						
16	5	0.0	0.0	0.01		0.025	0.0	
21	5	7.0	0.3	0.2		1.8916	E-05	4.705
24	5	300.0	0.557	4.45		0.220		0.220
31	5	1.0	0.0	0.627		1.66		0.0
34	5	0.05	0.05	0.32		0.97		0.95
41	5	0.85	0.93	0.0		0.015		0.0188
44	2	0.015	0.0					
-1								
PMATCH	03	2	1					
4	1	3.255	E-03					
-1								
PMATCH	03	3	2					
4	1	3.255	E-03					
-1								
PMATCH	03	4	3					
4	1	3.255	E-03					
-1								
PMATCH	03	5	4					
4	1	3.255	E-03					
-1								
PMATCH	03	6	5					
4	1	3.255	E-03					
-1								
PMATCH	03	7	6					
4	1	3.255	E-03					
-1								
PMATCH	03	8	7					
4	1	3.255	E-03					
-1								
PMATCH	03	9	8					
4	1	3.255	E-03					
-1								
PMATCH	03	10	9					
4	1	3.255	E-03					
-1								
PMATCH	03	11	10					
4	1	3.255	E-03					
-1								
PMATCH	03	12	11					
4	1	3.255	E-03					
-1								
PMATCH	03	13	12					
4	1	3.255	E-03					
-1								
PMATCH	03	14	13					
4	1	3.255	E-03					
-1								
PMATCH	03	15	14					
4	1	3.255	E-03					
-1								
PMATCH	03	16	15					
4	1	3.255	E-03					
-1								
COUL IN	04	1	0					

PIC

PIC

PIC

PIC

PIC

PIC

PIC

PIC

PIC

PIC

PIC

PIC

PIC

PIC

PIC

PIC

Table 4.1-8 (continued)

PAGE 13

TIME<10:12:04> DAIF<03/27/91>
J3781.IF.WFAC.DP.C2103.DAIA

1	5	10.0	4.3	0.015	1.0	E-04	0.015	
4	5	1.0	E-04	10.0	1.0	0.38895	0.38895	
12	5	0.0	0.40058	-0.25	0.0	0.0	0.0	
12	5	0.0	0.0	50.0	10.0	15.0		
22	5	4.54845	4.54845	1.00000E 04	1.00000E 06	2.0		
22	5	5.0	1.0	2.00000E 03	0.0	0.0		
32	5	0.0	477.4	0.0	0.5	1.0		RIC
32	1	1.0						
3	4	0.013	8.7	E-03	0.013	8.7	E-03	NRC/NA
-1								
COUL IN	64	2	1					RIC
33	1	513.2						
-1								
COUL IN	64	3	2					RIC
33	1	444.2						
-1								
COUL IN	64	4	3					RIC
33	1	537.9						
-1								
COUL IN	64	5	4					RIC
33	1	518.7						
-1								
COUL IN	64	6	5					RIC
33	1	494.7						
-1								
COUL IN	64	7	6					RIC
33	1	477.4						
-1								
COUL IN	64	8	7					RIC
33	1	513.2						
-1								
COUL IN	64	9	8					RIC
33	1	537.9						
-1								
COUL IN	64	10	9					RIC
33	1	574.0						
-1								
COUL IN	64	11	10					RIC
33	1	444.2						
-1								
COUL IN	64	12	11					RIC
33	1	574.0						
-1								
COUL IN	64	13	12					RIC
33	1	518.7						
-1								
COUL IN	64	14	13					RIC
33	1	435.9						
-1								
COUL IN	64	15	14					RIC
33	1	494.7						
-1								
COUL IN	64	16	15					RIC
33	1	518.7						
-1								
GASVUN	65	1	0					RIC
1	5	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0		

Table 4.1-8 (continued)

PAGE 14

TIME<10:12:04> DATE<03/27/81>
J3781.IF.RFAC.DP.C2103.DA1A

GASV00	65	2	1					
-1								
GASV00	65	3	2					
-1								
GASV00	65	4	3					
-1								
GASV00	65	5	4					
-1								
GASV00	65	6	5					
-1								
GASV00	65	7	6					
-1								
GASV00	65	8	7					
-1								
GASV00	65	9	8					
-1								
GASV00	65	10	9					
-1								
GASV00	65	11	10					
-1								
GASV00	65	12	11					
-1								
GASV00	65	13	12					
-1								
GASV00	65	14	13					
-1								
GASV00	65	15	14					
-1								
GASV00	65	16	15					
-1								
CL A71M	66	1	0					
1	5 0.209		0.06	10.0	10000.0	0.0		
6	5 0.0		0.2	30.0	135.0	0.38138		
11	5 0.69423		10.460	0.0	0.0	0.0		
-1								
CL A71M	66	2	1					
-1								
CL A71M	66	3	2					
-1								
CL A71M	66	4	3					
-1								
CL A71M	66	5	4					
-1								
CL A71M	66	6	5					
-1								
CL A71M	66	7	6					
-1								
CL A71M	66	8	7					
-1								
CL A71M	66	9	8					
-1								
CL A71M	66	10	9					
-1								
CL A71M	66	11	10					
-1								
CL A71M	66	12	11					

RIC

RIC

HEX2-3D

CL A71M	6A	13	12						
-1									
CL A71M	6A	14	13						
-1									
CL A71M	6A	15	14						
-1									
CL A71M	6A	16	15						
-1									
SLUMIN	67	1	0						
1	5-0.1		1.0	7.82	0.08	6.34	L+05		
4	5 0.1		3.0	0.0	3.20F	+07 1.44			
11	5 0.0		5.0	0.01	0.0	0.0			
16	5 0.0		1.0	0.0	0.0	1.0	E-09		
21	5 0.0		0.0	0.02	0.0013	0.5			
26	5 0.0		1.0	0.029	3.0	E+06 0.5032			
31	5 1.3	E+07	0.836	0.293	7.0	-100.0			
36	5 0.0		0.0	0.02	1.0	E-10 0.0			
-1									
SLUMIN	67	2	1						
-1									
SLUMIN	67	3	2						
-1									
SLUMIN	67	4	3						
-1									
SLUMIN	67	5	4						
-1									
SLUMIN	67	6	5						
-1									
SLUMIN	67	7	6						
-1									
SLUMIN	67	8	7						
-1									
SLUMIN	67	9	8						
-1									
SLUMIN	67	10	9						
-1									
SLUMIN	67	11	10						
-1									
SLUMIN	67	12	11						
-1									
SLUMIN	67	13	12						
-1									
SLUMIN	67	14	13						
-1									
SLUMIN	67	15	14						
-1									
SLUMIN	67	16	15						
-1									
FC1M	68	1	0						
1	5 0.5		5.0	0.0	0.0	0.0			
4	5-1.0		-1.0	-1.0	1.0	0.0			
11	5 1.3		50.0	-1.0	-1.0	0.01			
16	5 0.01		0.05	0.01	0.05	0.01			
27	5 50.0		10.0	0.0	0.0	0.0			
32	5 0.0		0.0	0.0	0.05	0.05			
37	5 0.1		0.0	0.0	0.0	0.0			

Table 4.1-8 (continued)

PAGE 16

TIME<10:12:04> DATE<03/27/91>
J3761.F.NFAC.PP.C2103.001A

47	5	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0	
47	1	0.0					
60	5	0.0	27.0	0.01	3.67	E+14	0.0
65	5	1.0	0.0	0.0	1400.0		1800.0
70	5	0.5	0.1	0.5	1.0		0.0
10	1	50.0					
35	3	0.45	0.45				
-1							
FCIT0	6P	2	1				
60	4	0.0	27.0	0.01	3.63	E+14	0.0
-1							
FCIT0	6P	3	2				
60	4	0.0	27.0	0.01	3.71	E+14	0.0
-1							
FCIT0	6P	4	3				
60	4	0.0	27.0	0.01	3.63	E+14	0.0
-1							
FCIT0	6P	5	4				
60	4	0.0	27.0	0.01	3.00	E+14	0.0
-1							
FCIT0	6P	6	5				
60	4	0.0	27.0	0.01	2.92	E+14	0.0
-1							
FCIT0	6P	7	6				
60	4	0.0	27.0	0.01	3.69	E+14	0.0
-1							
FCIT0	6P	8	7				
60	4	0.0	27.0	0.01	3.67	E+14	0.0
-1							
FCIT0	6P	9	8				
60	4	0.0	27.0	0.01	3.69	E+14	0.0
-1							
FCIT0	6P	10	9				
60	4	0.0	27.0	0.01	3.64	E+14	0.0
-1							
FCIT0	6P	11	10				
60	4	0.0	27.0	0.01	3.75	E+14	0.0
-1							
FCIT0	6P	12	11				
60	4	0.0	27.0	0.01	3.69	E+14	0.0
-1							
FCIT0	6P	13	12				
60	4	0.0	27.0	0.01	3.01	E+14	0.0
-1							
FCIT0	6P	14	13				
60	4	0.0	27.0	0.01	2.92	E+14	0.0
-1							
FCIT0	6P	15	14				
60	4	0.0	27.0	0.01	2.89	E+14	0.0
-1							
FCIT0	6P	16	15				
60	4	0.0	27.0	0.01	3.01	E+14	0.0
-1							
FCIT0	6P	1	1				
54	5-1.78765E-01-2.35270E-01-4.93940E-01-9.52475E-01-8.60090E-02						
61	5 2.72754E+00 4.46369E+00 6.05299E+00 6.76676E+00 6.57861E+00						
66	5 5.55909E+00 4.07578E+00 2.34186E+00 5.04936E-01-3.85927E-01						

Table 4.1-8 (continued)

PAGE 17

TIME<10:12:04> DATE<03/27/91>
J3781.14.HFAC.PP.C2103.001A

71	5-0.40395E-01-6.05740E-01-2.44889E-01-1.54288E-01-1.00186E-01
-1	
POWTRC	02 2 2
54	5-1.44271E-01-2.54871E-01-7.40215E-01-9.80535E-01 7.22829E-02
61	5 2.01866E+00 5.44191E+00 7.71758E+00 8.01054E+00 7.80293E+00
64	5 4.73605E+00 5.05449E+00 3.03594E+00 9.24764E-01-3.28920E-01
71	5-0.03335E-01-6.70600E-01-3.24949E-01-2.04881E-01-1.25207E-01
-1	
POWTRC	02 3 3
54	5-1.14981E-01-2.60146E-01-6.98000E-01-9.04875E-01-1.66366E-01
61	5 1.63824E+00 3.56448E+00 4.95651E+00 5.62568E+00 5.51160E+00
64	5 4.64574E+00 3.44633E+00 1.95331E+00 3.40084E-01-3.59978E-01
71	5-7.67875E-01-5.51510E-01-2.40052E-01-1.32105E-01-8.25485E-02
-1	
POWTRC	02 4 4
54	5-1.57242E-01-2.60301E-01-7.65885E-01-1.00389E+00 3.04833E-01
61	5 3.41677E+00 6.15062E+00 8.04975E+00 8.86577E+00 8.58801E+00
64	5 7.34751E+00 5.54154E+00 3.35343E+00 1.08151E+00-3.21176E-01
71	5-0.24160E-01-6.93110E-01-3.34094E-01-2.06680E-01-1.27006E-01
-1	
POWTRC	02 5 5
54	5-8.23825E-02-2.54658E-01-8.09600E-01-1.14289E+00-5.90100E-01
61	5-8.04655E-02 1.08843E+00 2.08513E+00 2.60795E+00 2.63241E+00
64	5 2.20460E+00 1.41970E+00 4.13194E-01-2.24786E-01-5.53660E-01
71	5-8.72830E-01-6.04495E-01-2.28520E-01-1.11966E-01-6.81755E-02
-1	
POWTRC	02 6 6
54	5-5.14430E-02-1.86600E-01-6.22600E-01-1.08766E+00-1.03482E+00
61	5-1.01775E+00-9.76605E-01-9.23805E-01-8.56490E-01-7.66810E-01
64	5-1.86605E-01-6.53725E-01-6.50225E-01-6.60010E-01-6.61120E-01
71	5-6.86695E-01-3.98290E-01-1.40550E-01-6.54455E-02-3.85794E-02
-1	
POWTRC	02 7 7
54	5-1.21778E-01-2.34661E-01-6.78190E-01-9.27290E-01-1.15898E-01
61	5 1.07400E+00 4.10500E+00 5.61181E+00 6.29011E+00 6.10888E+00
64	5 5.10799E+00 3.72530E+00 2.12753E+00 4.40475E-01-3.55987E-01
71	5-7.92295E-01-5.57555E-01-2.37880E-01-1.33413E-01-8.80925E-02
-1	
POWTRC	02 8 8
54	5-1.47499E-01-2.45731E-01-7.21260E-01-9.66360E-01 2.07796E-02
61	5 2.79767E+00 5.26491E+00 7.02151E+00 7.82881E+00 7.63717E+00
64	5 1.55165E+00 4.92585E+00 2.99316E+00 9.49182E-01-3.16475E-01
71	5-8.43480E-01-5.97895E-01-2.53562E-01-1.45887E-01-9.92415E-02
-1	
POWTRC	02 9 9
54	5-1.58950E-01-2.58758E-01-7.60580E-01-9.93555E-01 3.48352E-01
61	5 3.46177E+00 6.24527E+00 8.17731E+00 9.00343E+00 8.58455E+00
64	5 2.03594E+00 5.16064E+00 3.09136E+00 9.75777E-01-3.12267E-01
71	5-8.83680E-01-6.33485E-01-2.69031E-01-1.56040E-01-1.09590E-01
-1	
POWTRC	02 10 10
54	5-1.67375E-01-2.61578E-01-7.95185E-01-1.05812E+00 3.82221E-01
61	5 3.20641E+00 6.61062E+00 8.60462E+00 9.62750E+00 9.08423E+00
64	5 7.77885E+00 5.82018E+00 3.55811E+00 1.22142E+00-2.94990E-01
71	5-9.27345E-01-6.93715E-01-3.31173E-01-2.07264E-01-1.29783E-01
-1	
POWTRC	02 11 11

Table 4.1-8 (continued)

PAGE 18

TIME<10:12:04> DATA<03/27/81>
J3781.LF.RFAC.PP.C2103.DA1A

5A	5-9.72590E-02-2.42545E-01-A.80580E-01-9.14515E-01-2.67318E-01
61	5-1.08102E+00-2.79102E+00-4.04481E+00-4.88024E+00-4.62181E+00
6A	5-3.91114E+00-2.84344E+00-1.55225E+00-1.79016E-01-3.56018E-01
71	5-7.25705E-01-5.16400E-01-2.12867E-01-1.12774E-01-7.30305E-02
-1	
PROTIC	62 12 12
5A	5-1.72311E-01-2.88227E-01-P.04700E-01-1.05168E+00-5.25348E-01
61	5-3.96610E+00-6.96811E+00-9.02428E+00-9.84777E+00-9.36209E+00
6A	5-7.73077E+00-5.74916E+00-3.55008E+00-1.29091E+00-2.57419E-01
71	5-8.80845E-01-6.40515E-01-2.70191E-01-1.58153E-01-1.14332E-01
-1	
PROTIC	62 13 13
5A	5-9.37510E-02-2.53729E-01-7.59045E-01-1.05684E+00-5.66775E-01
61	5-1.21825E-01-8.68866E-01-1.81691E+00-2.39373E+00-2.60979E+00
6A	5-2.36779E+00-1.67530E+00-7.43115E-01-9.35985E-02-4.11052E-01
71	5-7.15140E-01-5.03055E-01-1.89523E-01-9.35305E-02-5.83165E-02
-1	
PROTIC	62 14 14
5A	5-5.07105E-02-1.89282E-01-6.45740E-01-1.13316E+00-1.08348E+00
61	5-1.07146E+00-1.03825E+00-1.00124E+00-9.62560E-01-9.21485E-01
6A	5-P.85705E-01-P.62740E-01-8.47070E-01-8.31690E-01-8.02480E-01
71	5-P.03100E-01-4.60231E-01-1.62714E-01-7.51120E-02-4.33705E-02
-1	
PROTIC	62 15 15
5A	5-3.65500E-02-1.41408E-01-6.91729E-01-9.10770E-01-9.73070E-01
61	5-1.06534E+00-1.12858E+00-1.16614E+00-1.17325E+00-1.14919E+00
6A	5-1.04764E+00-1.02563E+00-9.39775E-01-8.44325E-01-7.39200E-01
71	5-6.66940E-01-3.61939E-01-1.26330E-01-5.67365E-02-3.13737E-02
-1	
PROTIC	62 16 16
5A	5-5.57240E-02-2.05218E-01-6.70550E-01-1.04177E+00-7.88050E-01
61	5-5.76195E-01-3.61158E-01-2.00773E-01-1.05506E-01-8.09750E-02
6A	5-1.23149E-01-2.21722E-01-3.57680E-01-5.07520E-01-6.40905E-01
71	5-7.83715E-01-5.02530E-01-1.85678E-01-8.70290E-02-5.04990E-02
-1	
EMUDUN	-1

Figure 4.1 - 1 ~ 4.1 - 26

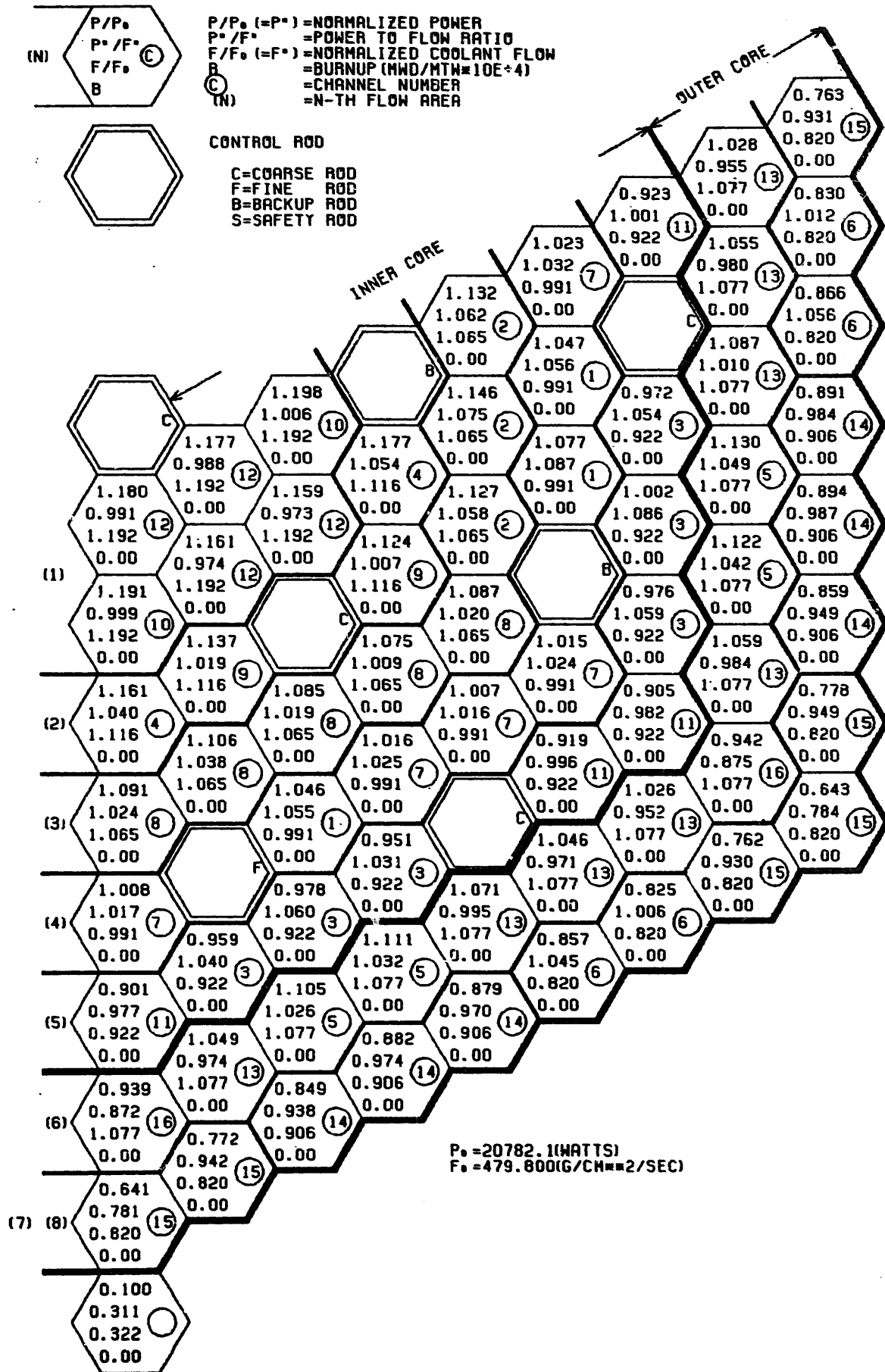


Fig. 4.1-1 Fuel assembly characteristics for BOIC steady state

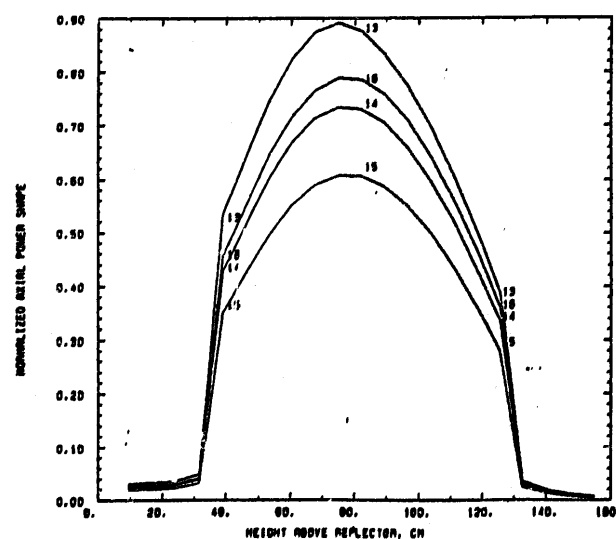
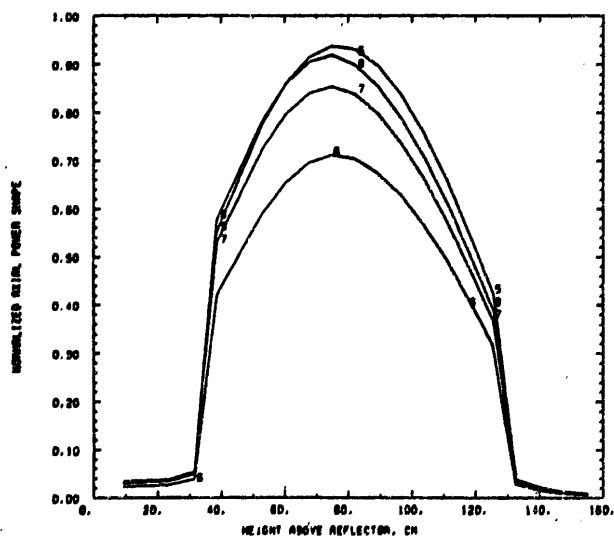
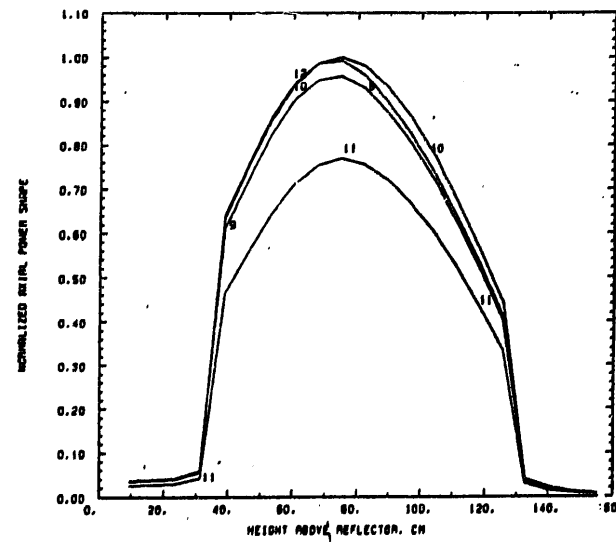
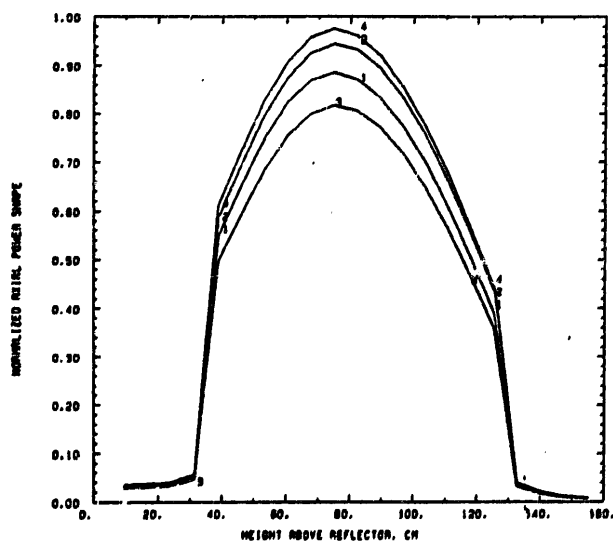


Fig. 4.1-2 Normalized linear power by channel for BOIC

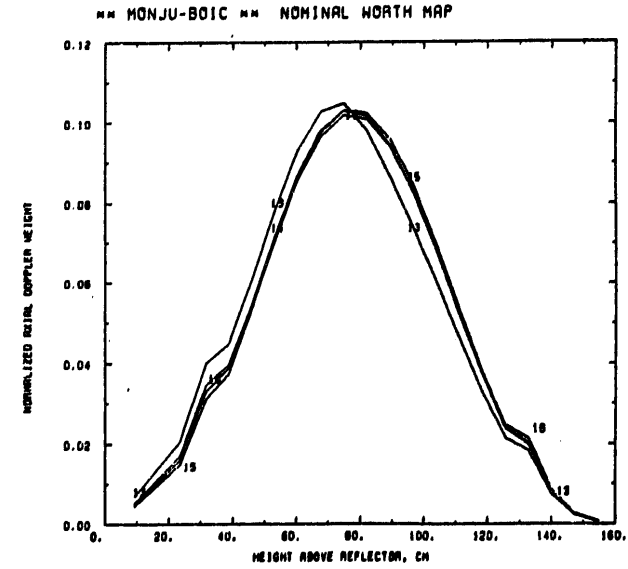
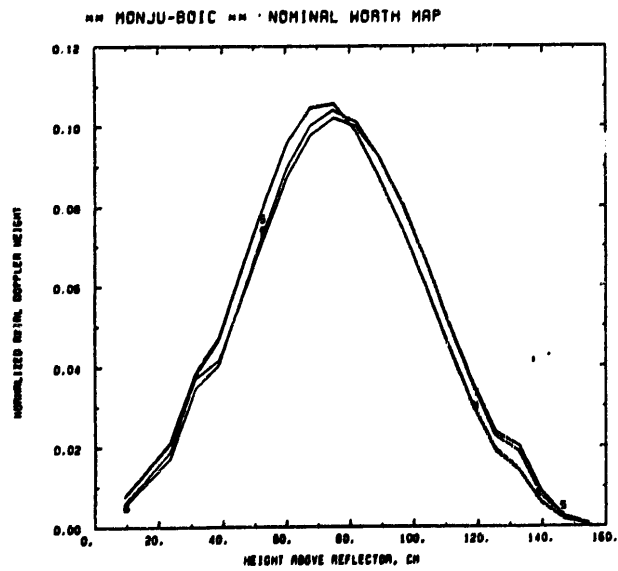
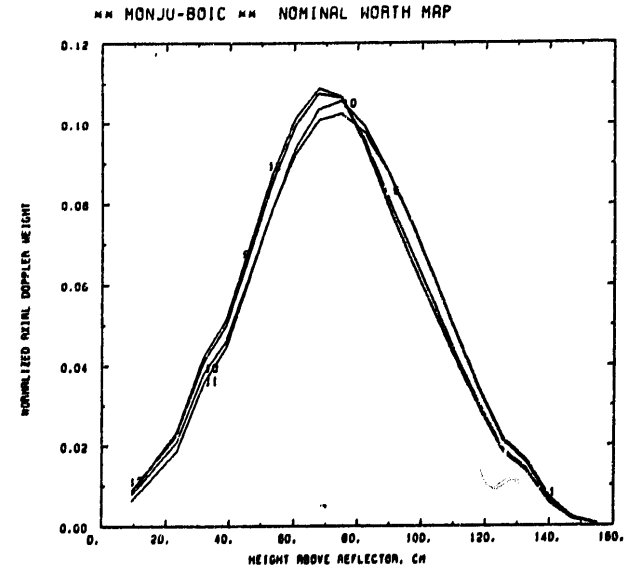
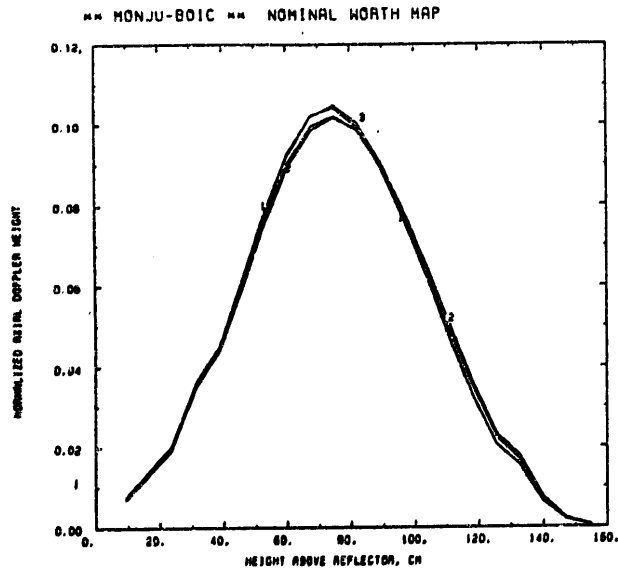


Fig. 4.1-3 Normalized doppler coefficient by channel for BOIC

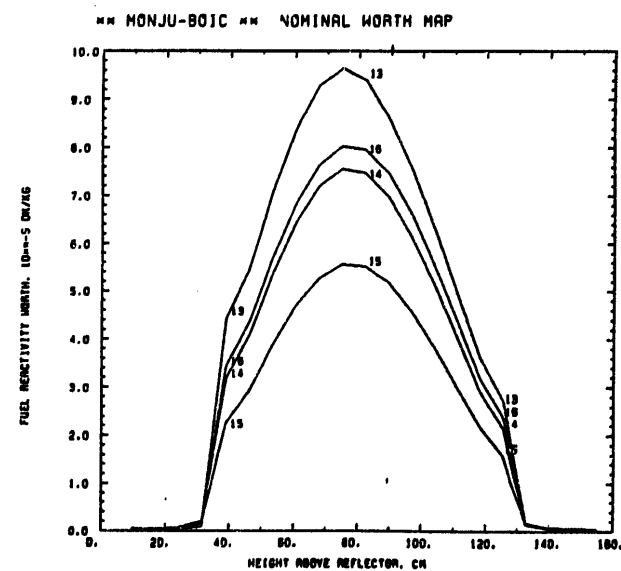
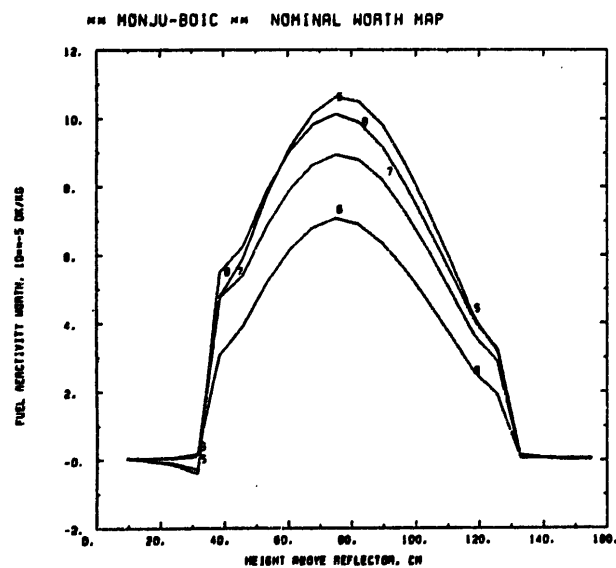
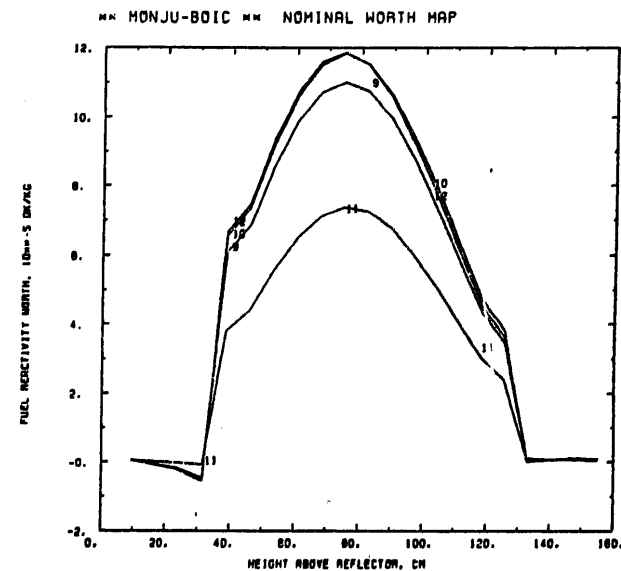
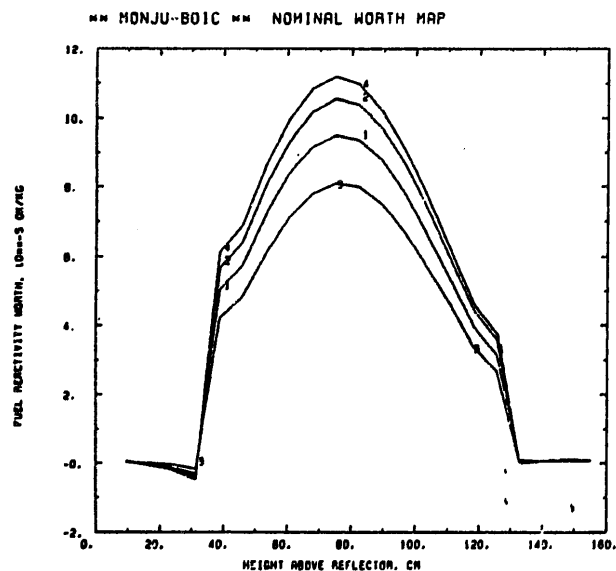


Fig. 4.1-4 Fuel reactivity worth by channel for BOIC

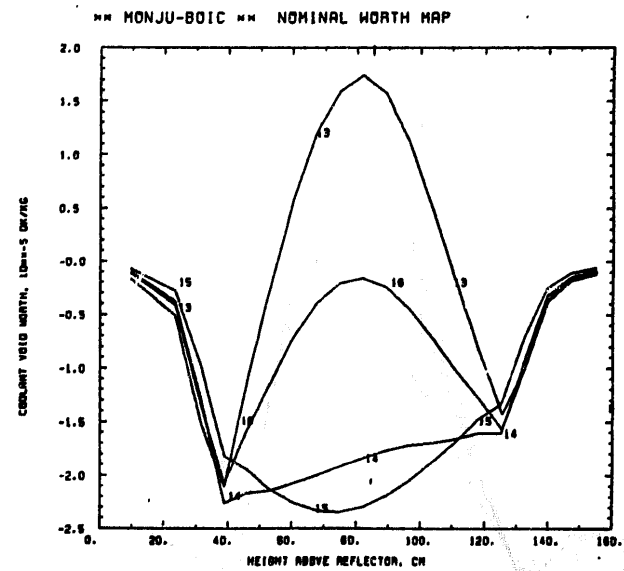
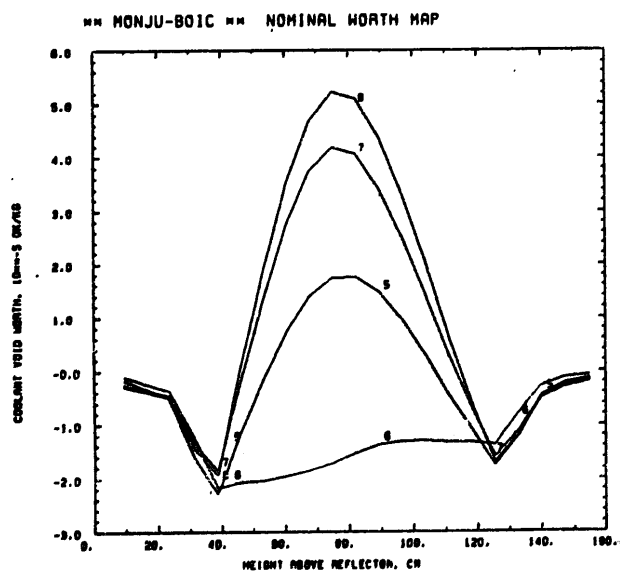
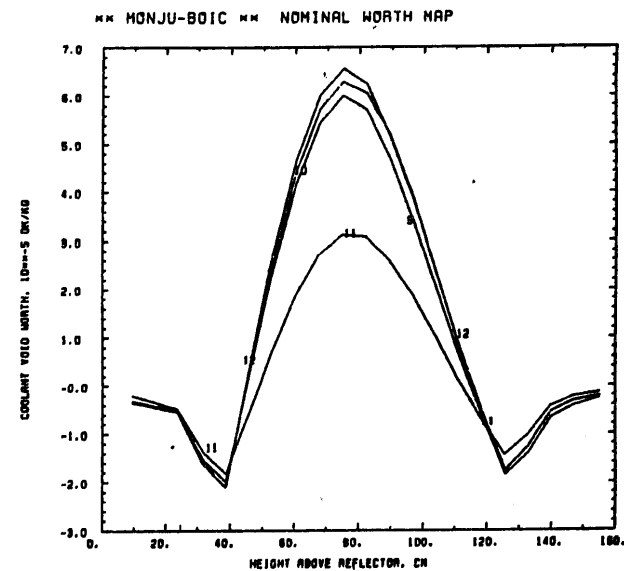
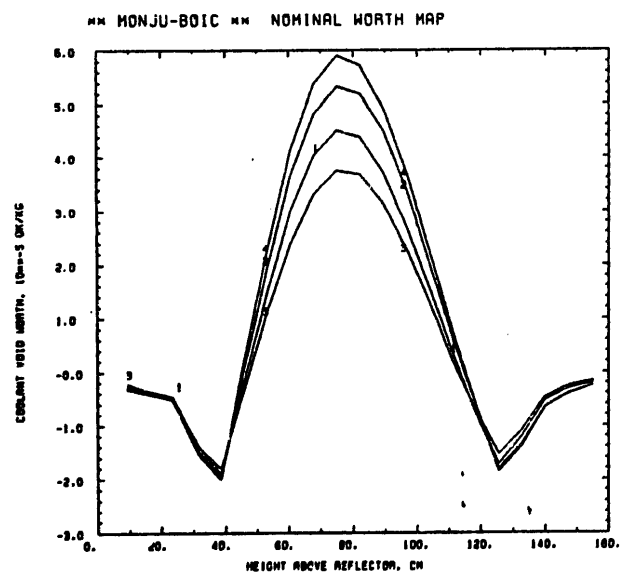


Fig. 4.1-5 Coolant reactivity worth by channel for BOIC

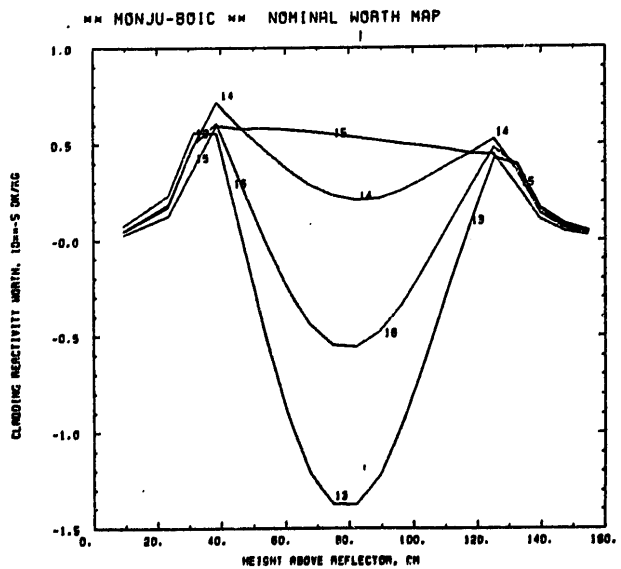
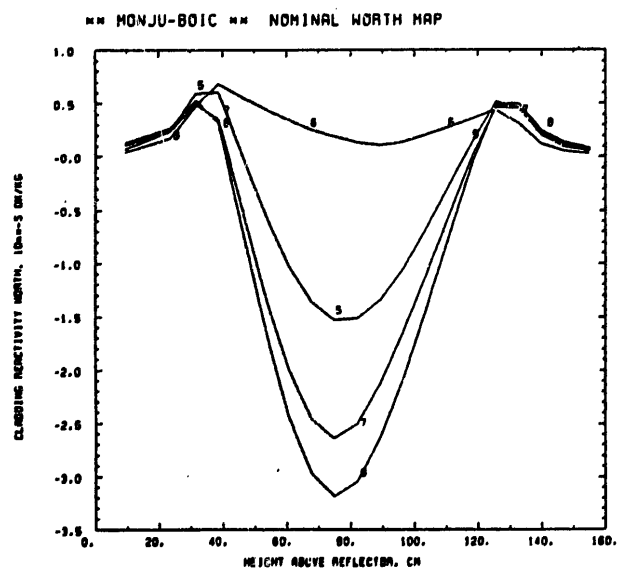
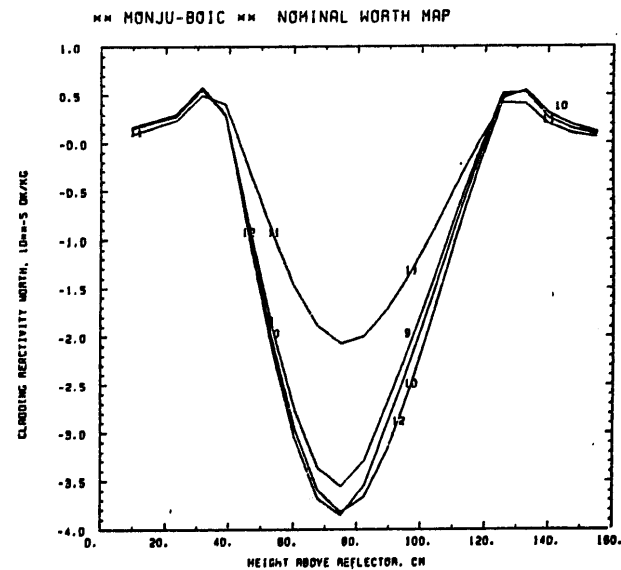
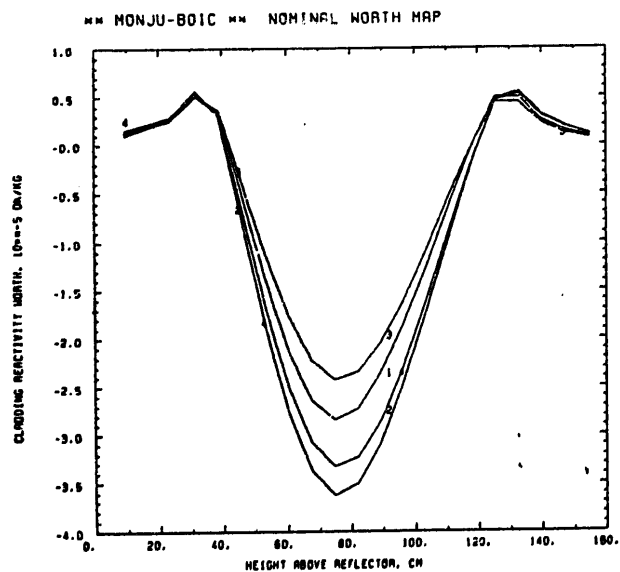


Fig. 4.1-6 Steel reactivity worth (cladding and wrapping wire) by channel for BOIC

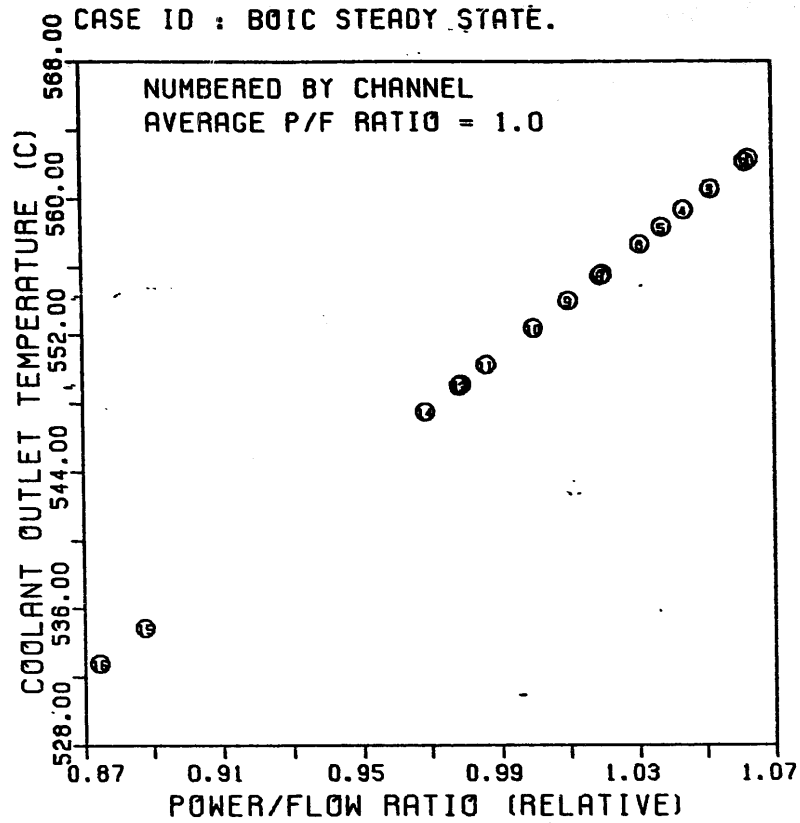


Fig. 4.1-7 Coolant outlet temperature as a function of power to flow ratio of SAS3D channel for BOIC

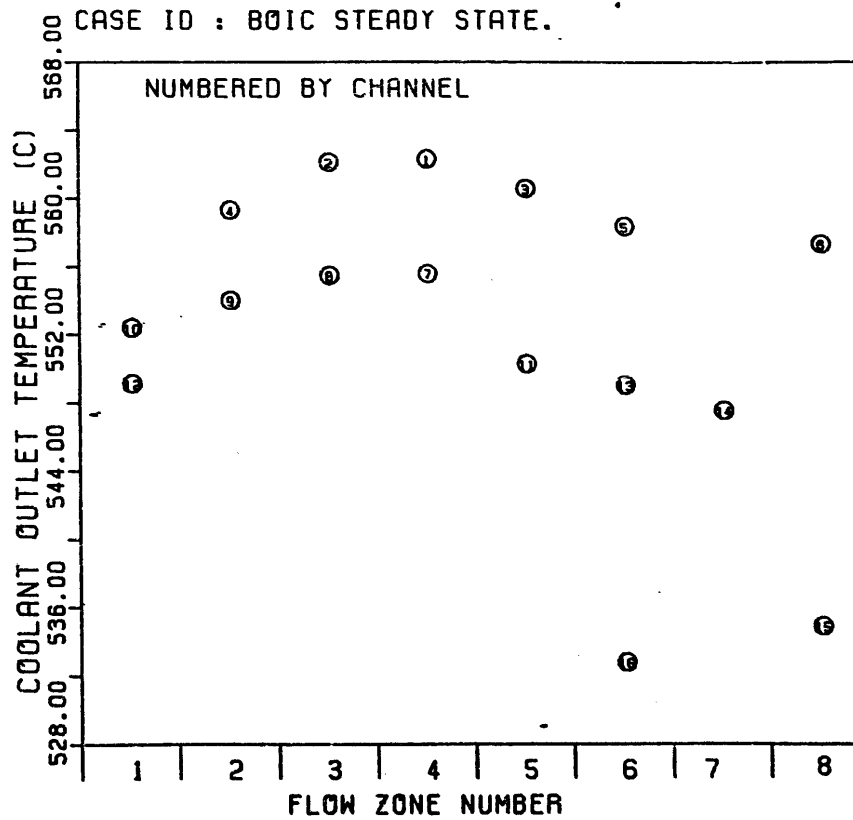


Fig. 4.1-8 Coolant outlet temperature in each flow zone for BOIC

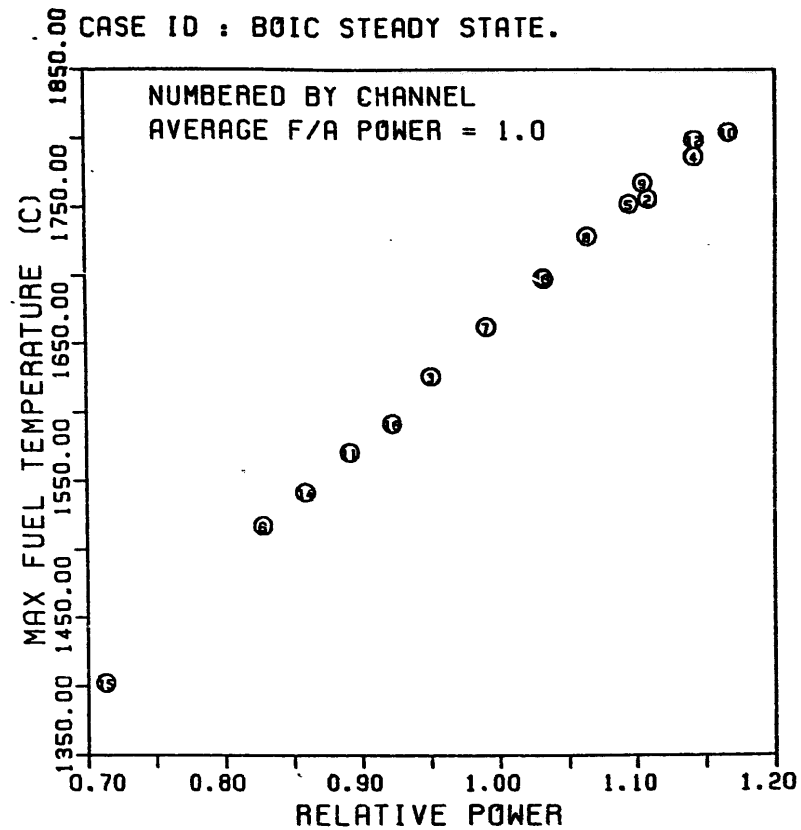


Fig. 4.1-9 Maximum fuel temperature as a function of relative channel power for B0IC

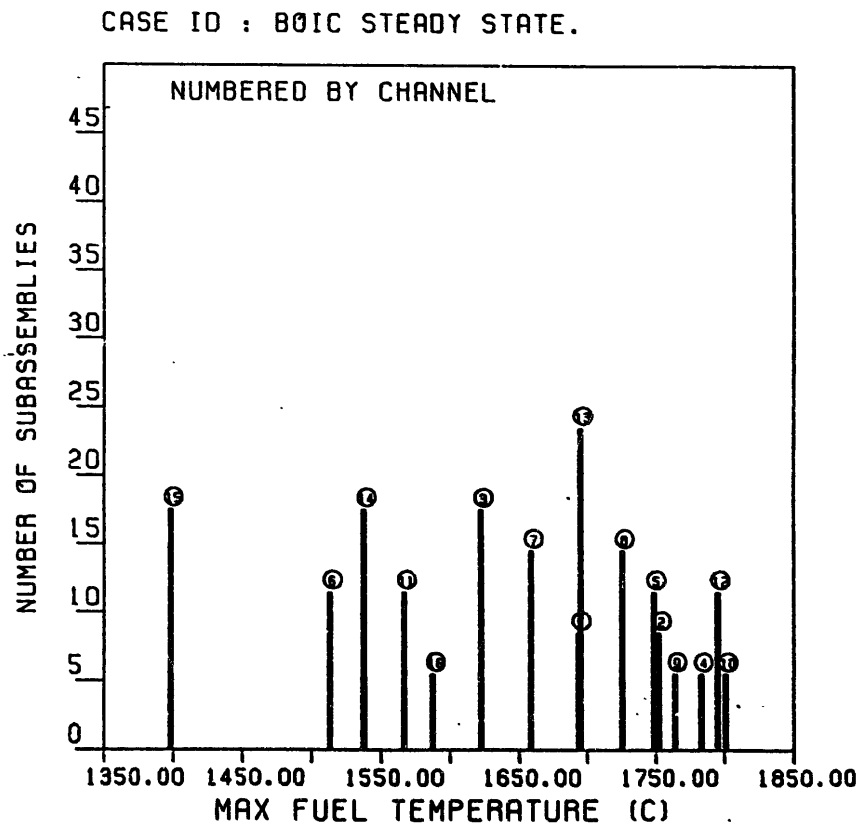
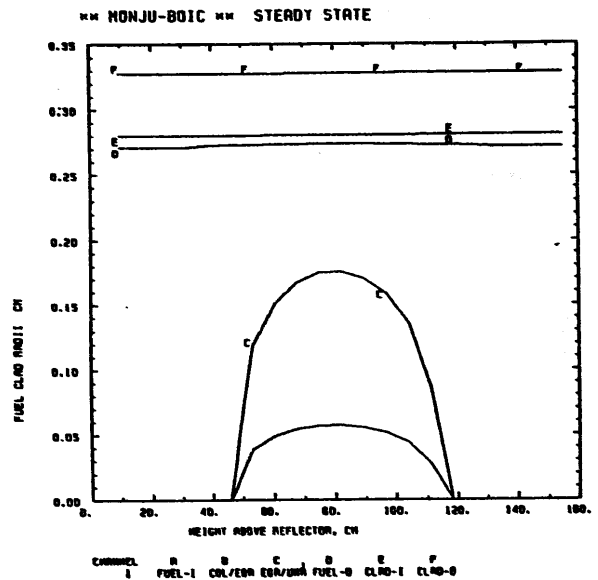


Fig.4.1-10 Maximum fuel temperature spectrum for B0IC



**Fig.4.1-11(c) Fuel restructuring profiles
in ch.1 for BOIC steady
state**

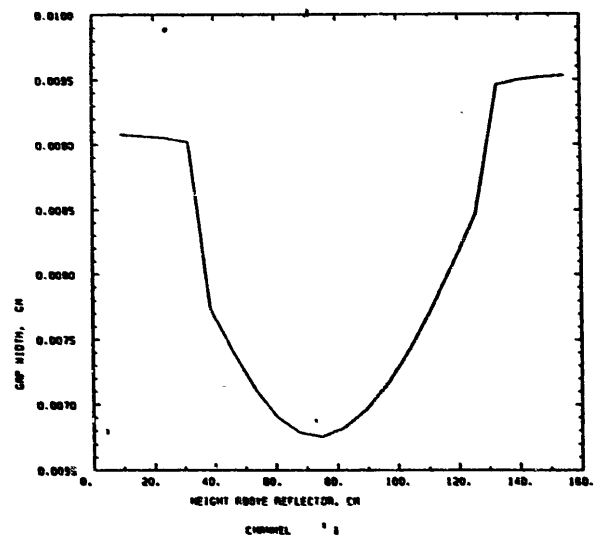


Fig.4.1-11(d) Fuel/cladding gap profile in ch.1 for BOIC steady state

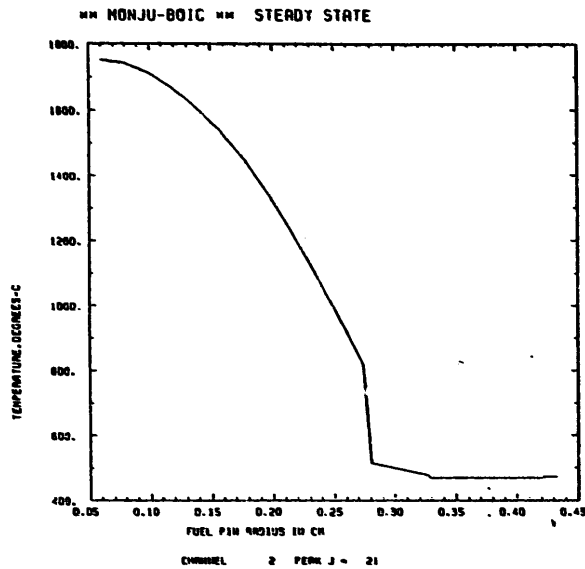


Fig.4.1-12(a) Radial pin temperature distribution in ch.2 for BOIC steady state

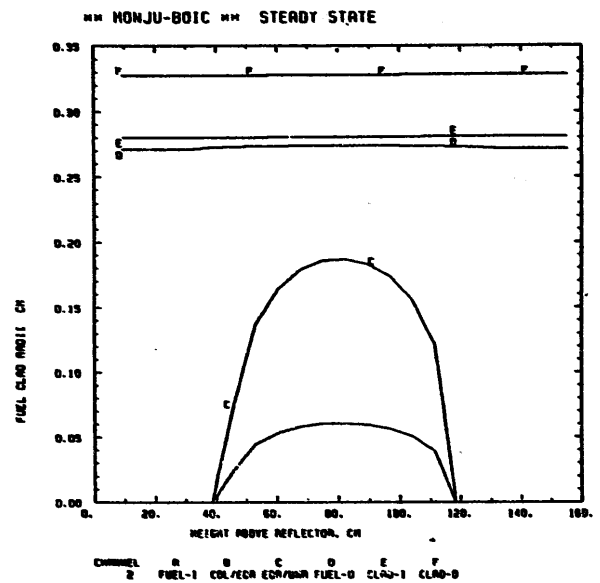


Fig.4.1-12(c) Fuel restructuring profiles in ch.2 for BOIC steady state

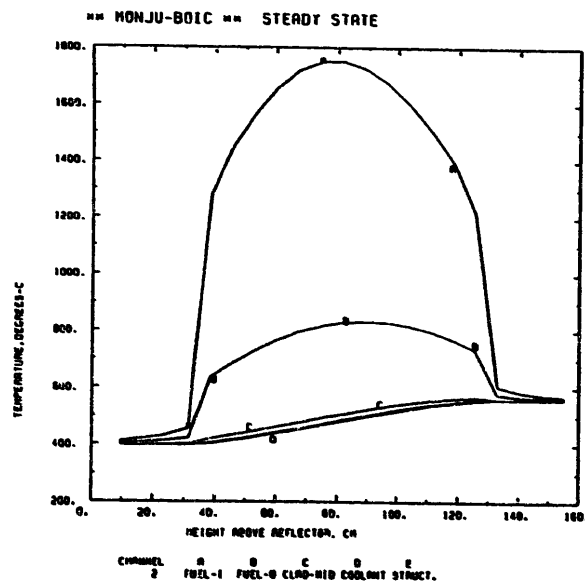


Fig.4.1-12(b) Axial temperature distributions of fuel, cladding, coolant, and structure in ch.2 for BOIC steady state

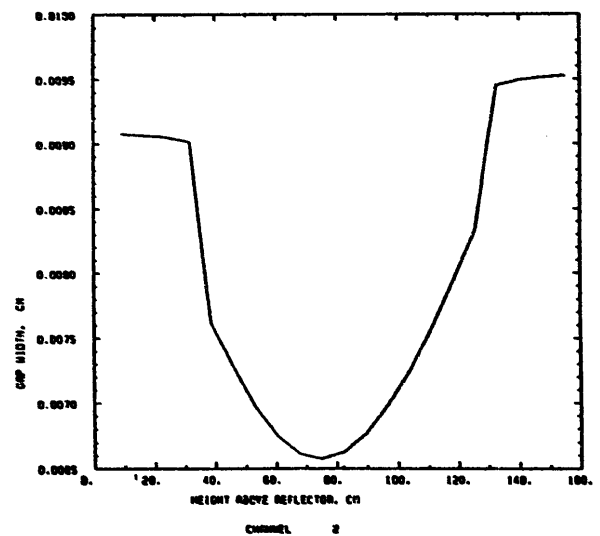


Fig.4.1-12(d) Fuel/cladding gap profile in ch.2 for BOIC steady state

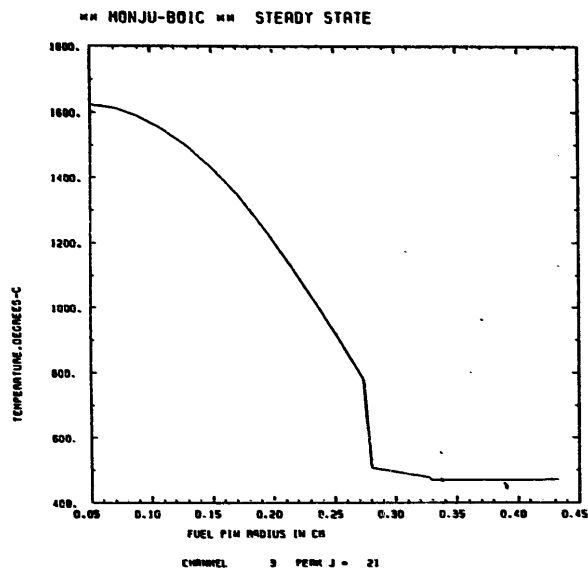


Fig.4.1-13(a) Radial pin temperature distribution in ch.3 for BOIC steady state

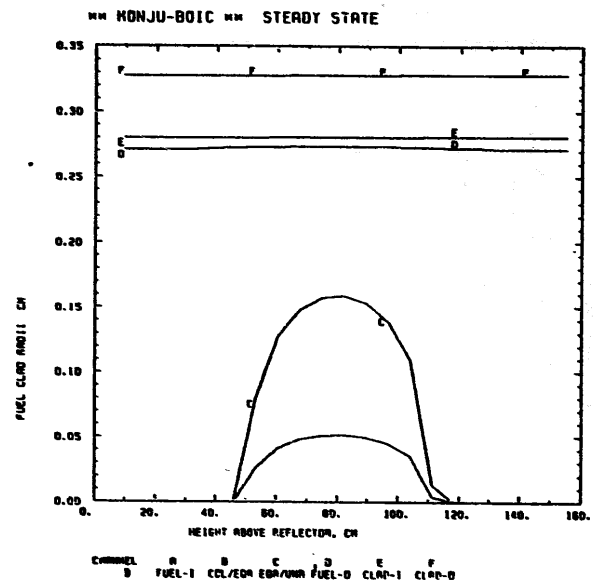


Fig.4.1-13(c) Fuel restructuring profiles in ch.3 for BOIC steady state

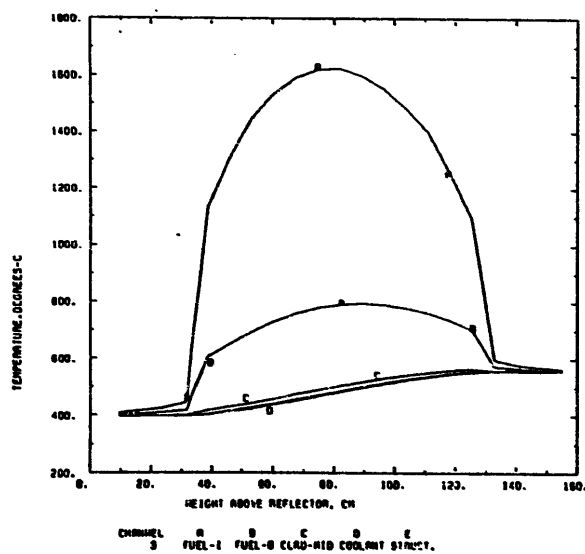


Fig.4.1-13(b) Axial temperature distributions of fuel, cladding, coolant, and structure in ch.3 for BOIC steady state

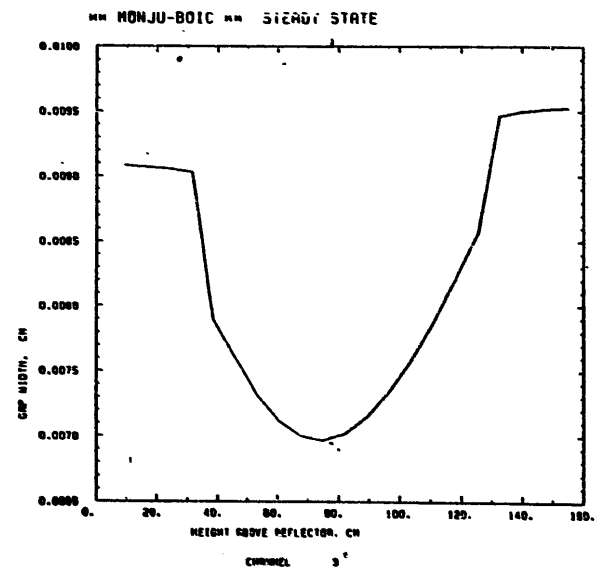


Fig.4.1-13(d) Fuel/cladding gap profile in ch.3 for BOIC steady state

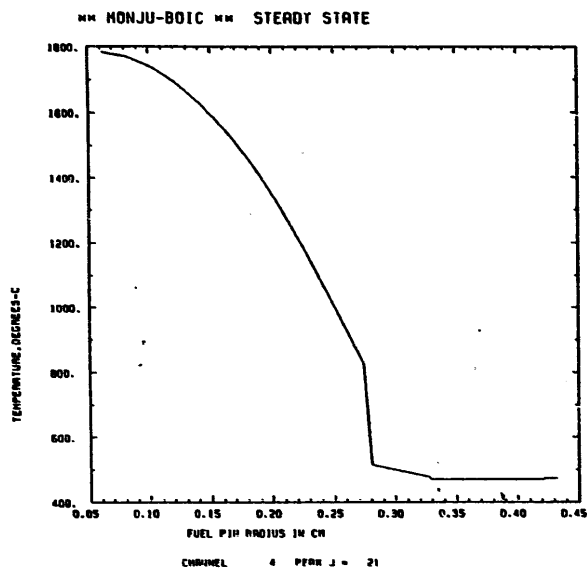


Fig.4.1-14(a) Radial pin temperature distribution in ch.4 for BOIC steady state

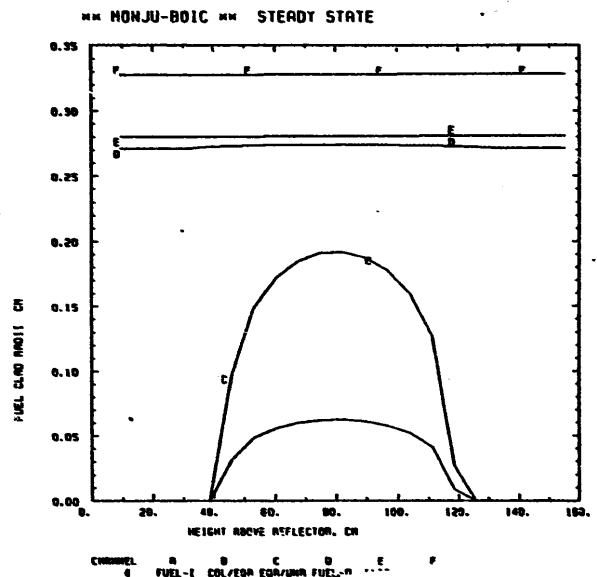


Fig.4.1-14(c) Fuel restructuring profiles in ch.4 for BOIC steady state

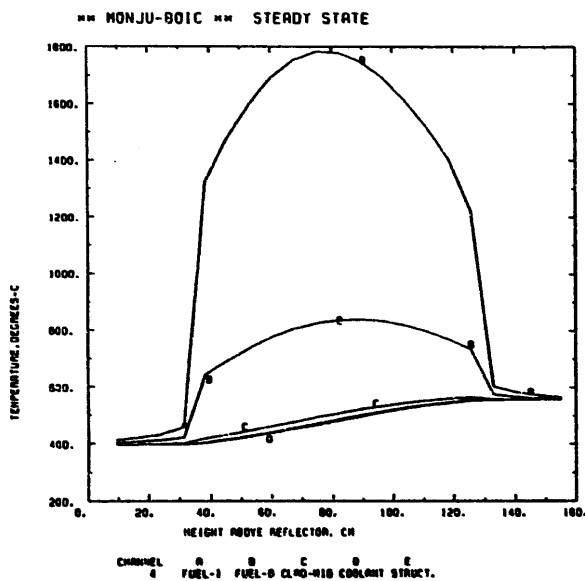


Fig.4.1-14(b) Axial temperature distributions of fuel, cladding, coolant, and structure in ch.4 for BOIC steady state

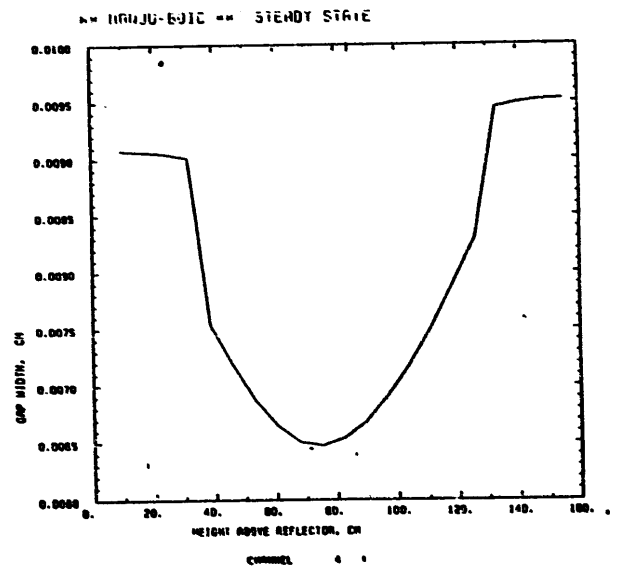


Fig.4.1-14(d) Fuel/cladding gap profile in ch.4 for BOIC steady state

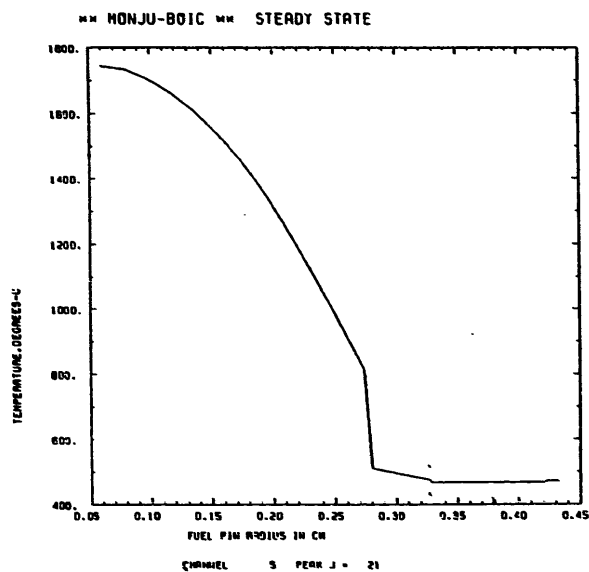


Fig.4.1-15(a) Radial pin temperature distribution in ch.5 for BOIC steady state

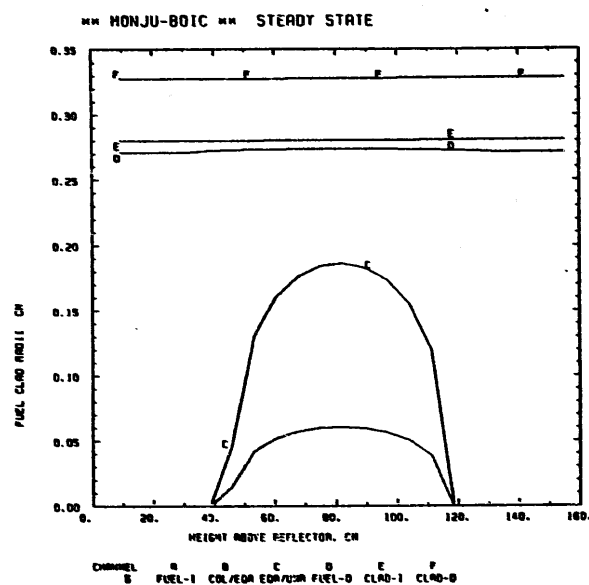


Fig.4.1-15(c) Fuel restructuring profiles in ch.5 for BOIC steady state

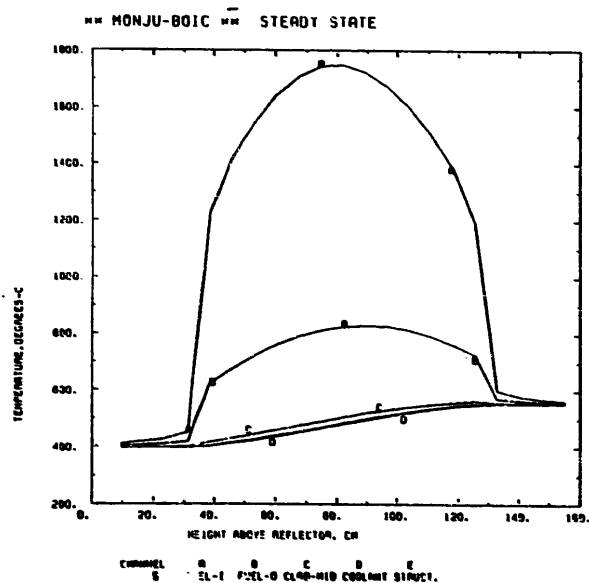


Fig.4.1-15(b) Axial temperature distributions of fuel, cladding, coolant, and structure in ch.5 for BOIC steady state

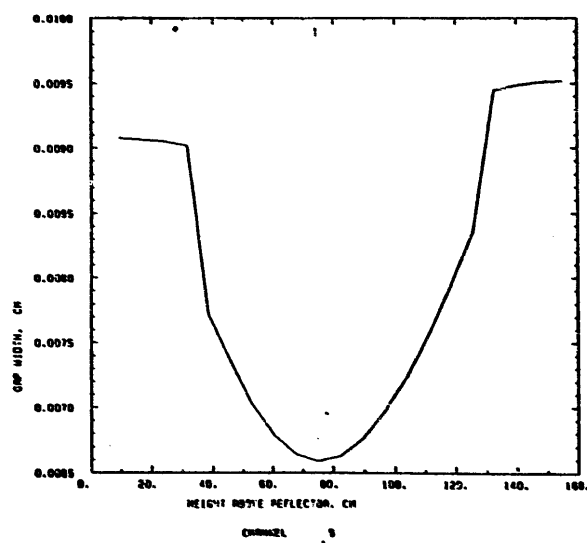


Fig.4.1-15(d) Fuel/cladding gap profile in ch.5 for BOIC steady state

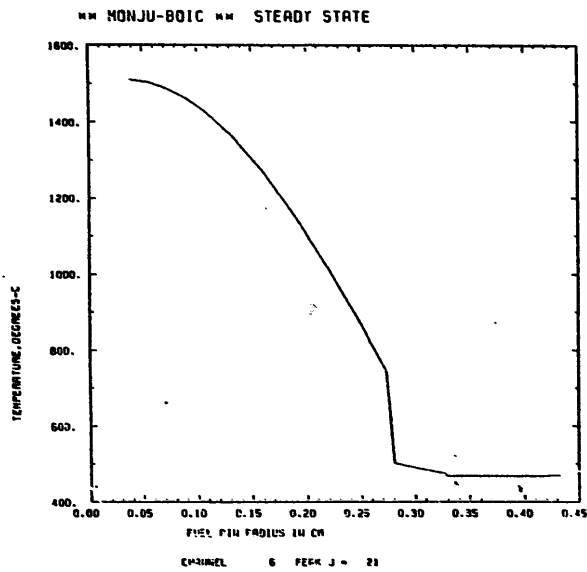


Fig.4.1-16(a) Radial pin temperature distribution in ch.6 for BOIC steady state

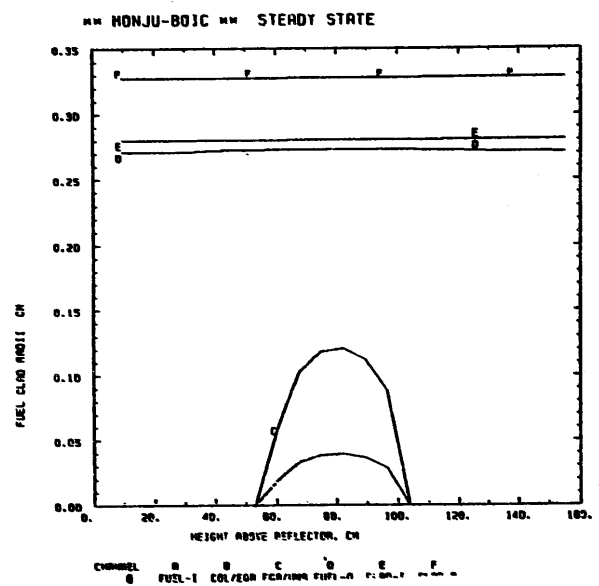


Fig.4.1-16(c) Fuel restructuring profiles in ch.6 for BOIC steady state

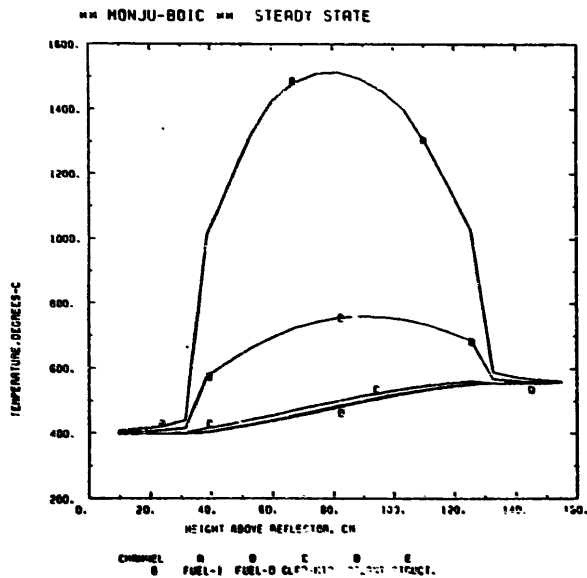


Fig.4.1-16(b) Axial temperature distributions of fuel, cladding, coolant, and structure in ch.6 for BOIC steady state

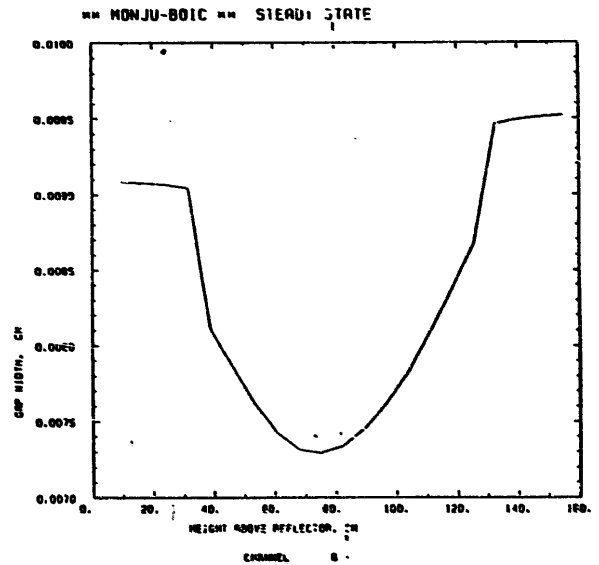


Fig.4.1-16(c) Fuel/cladding gap profile in ch.6 for BOIC steady state

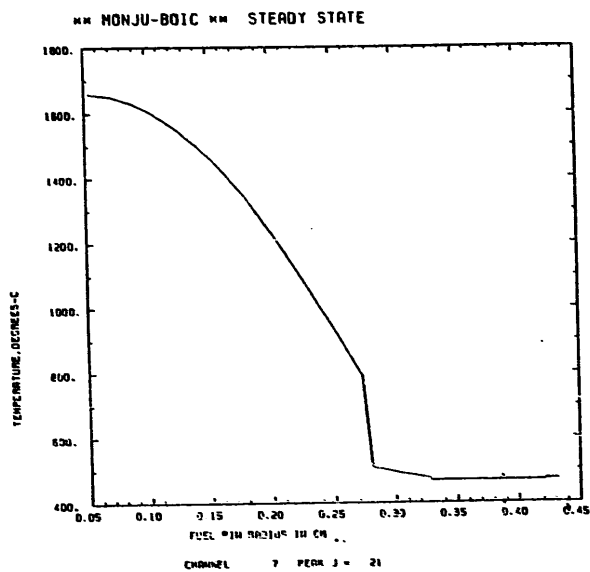


Fig.4.1-17(a) Radial pin temperature distribution in ch.7 for BOIC steady state

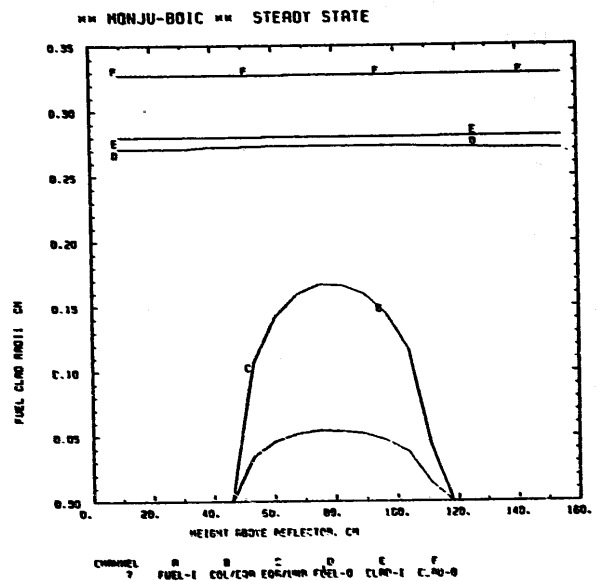


Fig.4.1-17(c) Fuel restructuring profiles in ch.7 for BOIC steady state

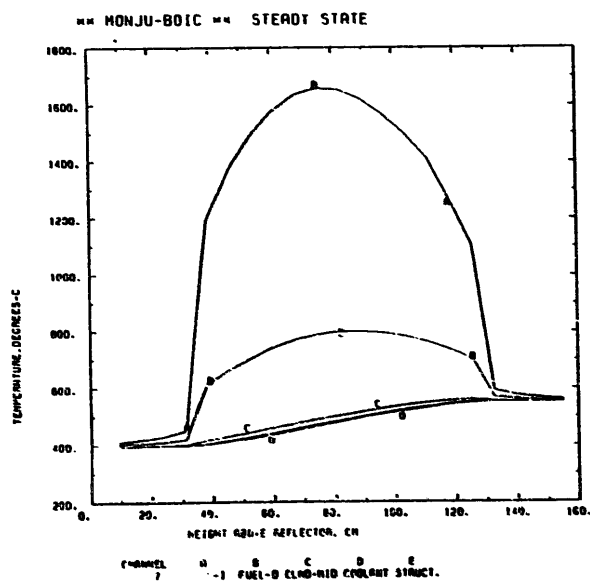


Fig.4.1-17(b) Axial temperature distributions of fuel, cladding, coolant, and structure in ch.7 for BOIC steady state

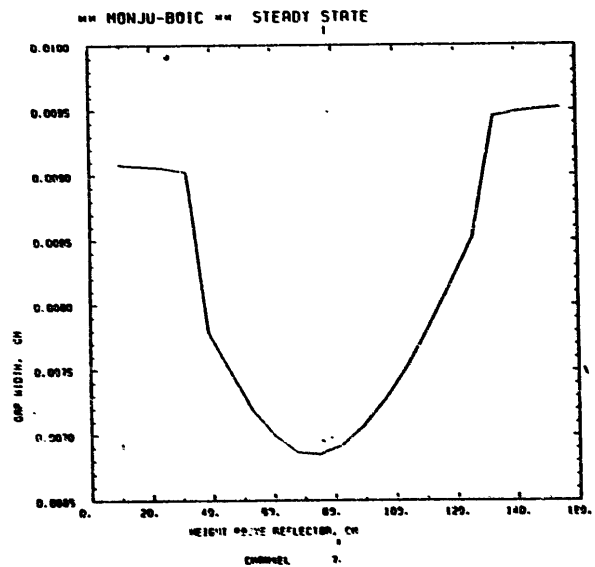


Fig.4.1-17(d) Fuel/cladding gap profile in ch.7 for BOIC steady state

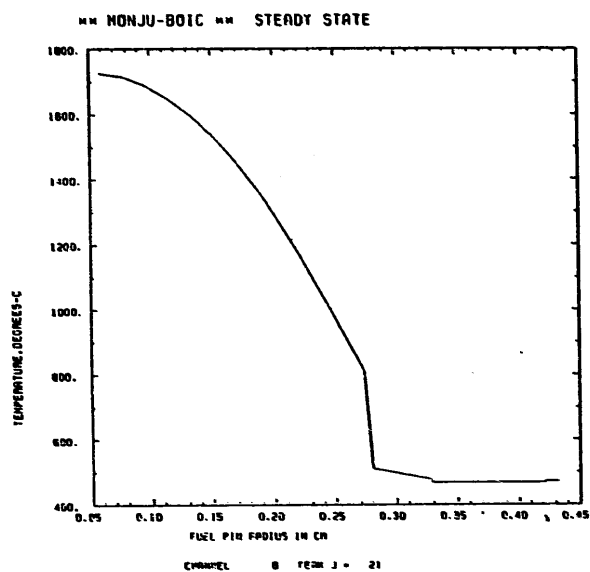


Fig.4.1-18(a) Radial pin temperature distribution in ch.8 for BOIC steady state

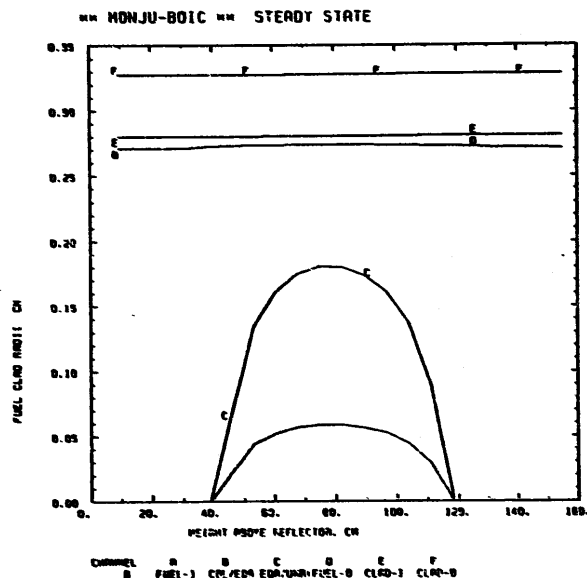


Fig.4.1-18(c) Fuel restructuring profiles in ch.8 for BOIC steady state

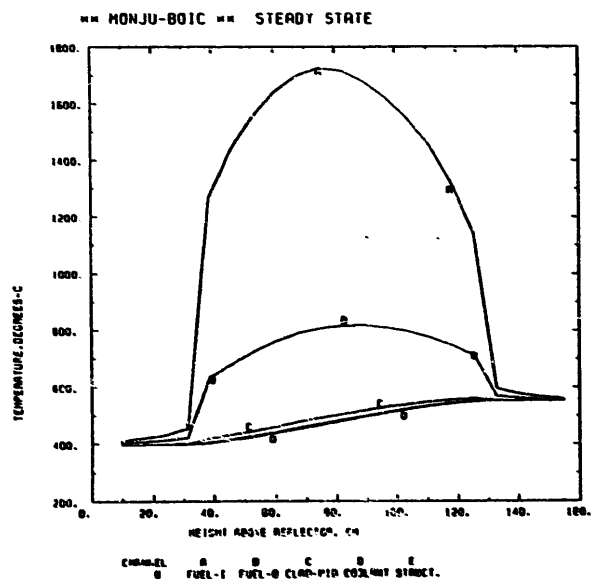


Fig.4.1-18(b) Axial temperature distributions of fuel, cladding, coolant, and structure in ch.8 for BOIC steady state

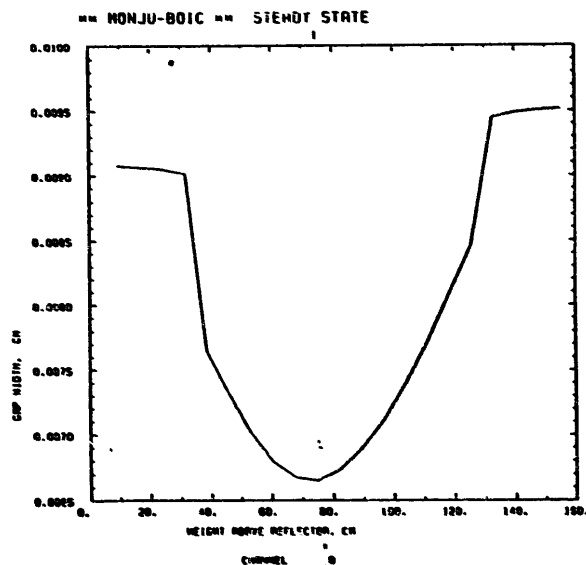


Fig.4.1-18(d) Fuel/cladding gap profile in ch.8 for BOIC steady state

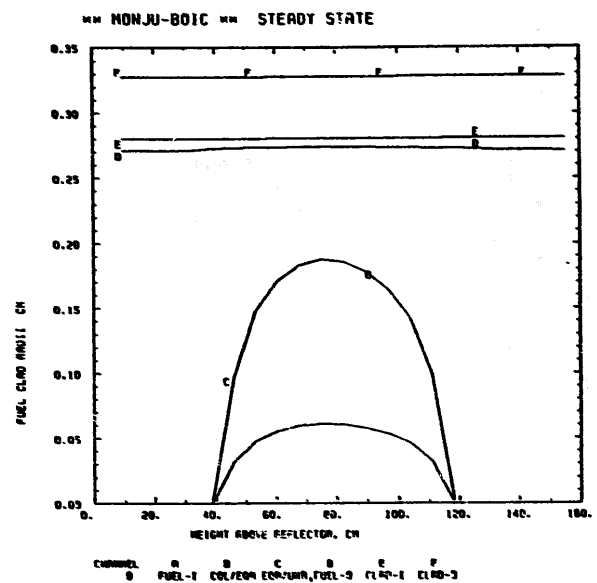
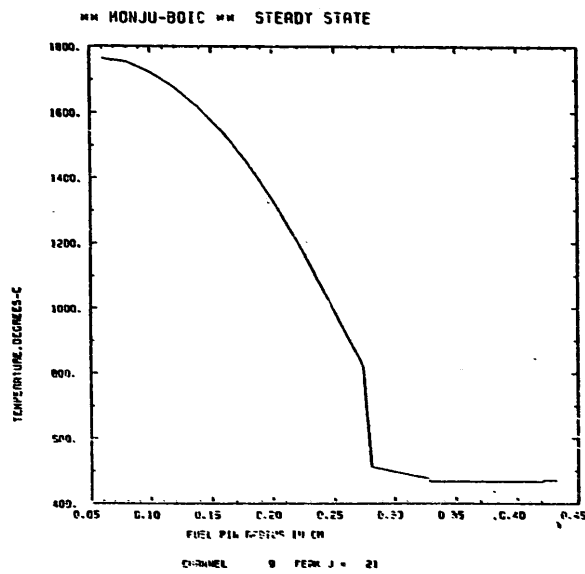


Fig.4.1-19(a) Radial pin temperature distribution in ch.9 for BOIC steady state

Fig.4.1-19(c) Fuel restructuring profiles in ch.9 for BOIC steady state

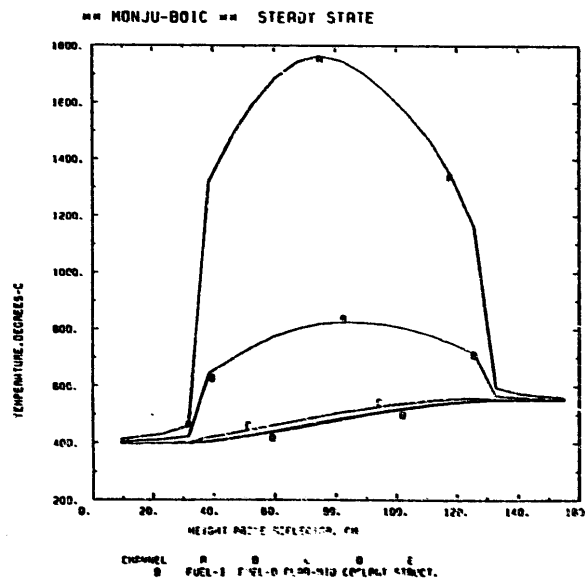


Fig.4.1-19(b) Axial temperature distributions of fuel, cladding, coolant, and structure in ch.9 for BOIC steady state

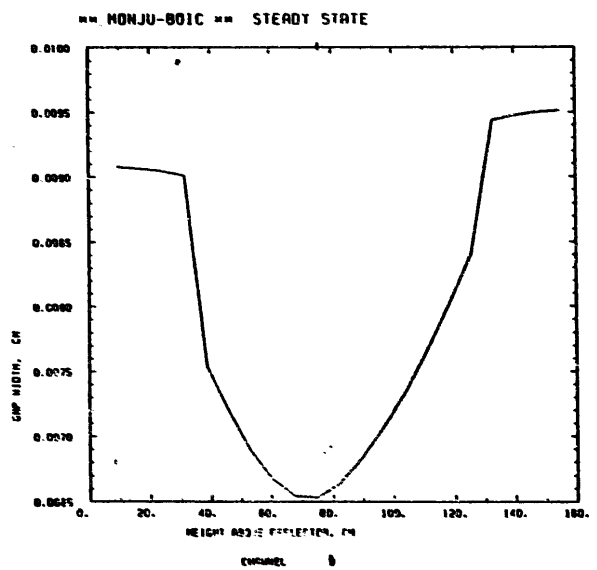


Fig.4.1-19(d) Fuel/cladding gap profile in ch.9 for BOIC steady state

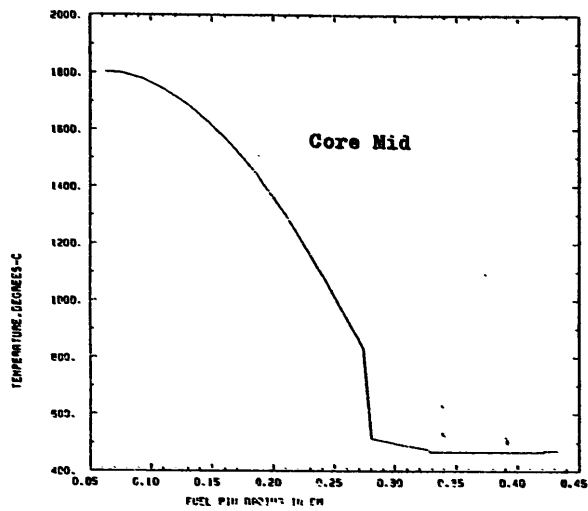


Fig.4.1-20(a) Radial pin temperature distribution in ch.10 for BOIC steady state

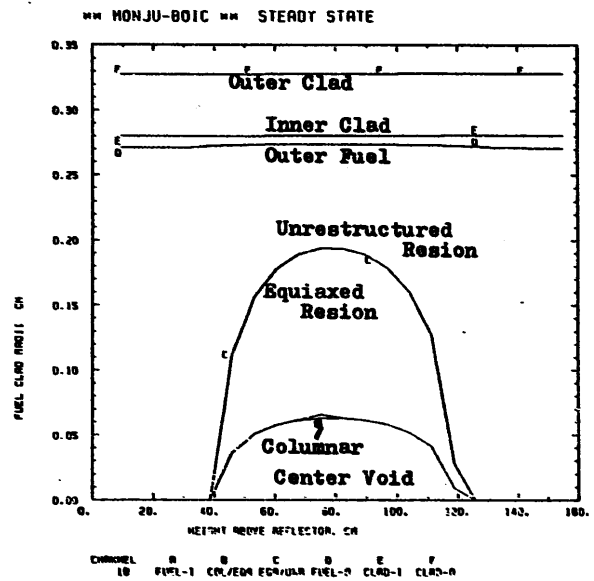


Fig.4.1-20(c) Fuel restructuring profiles in ch.10 for BOIC steady state

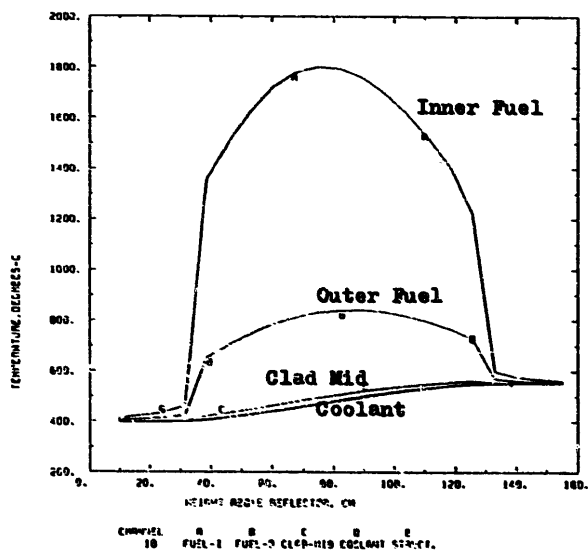


Fig.4.1-20(b) Axial temperature distributions of fuel, cladding, coolant, and structure in ch.10 for BOIC steady state

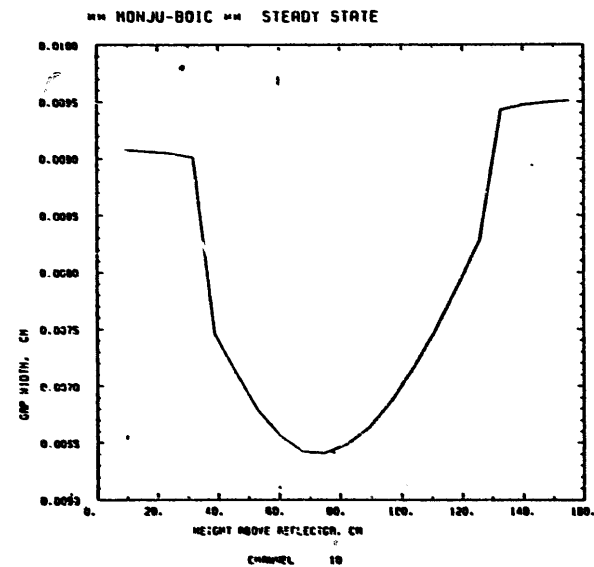


Fig.4.1-20(d) Fuel/cladding gap profile in ch.10 for BOIC steady state

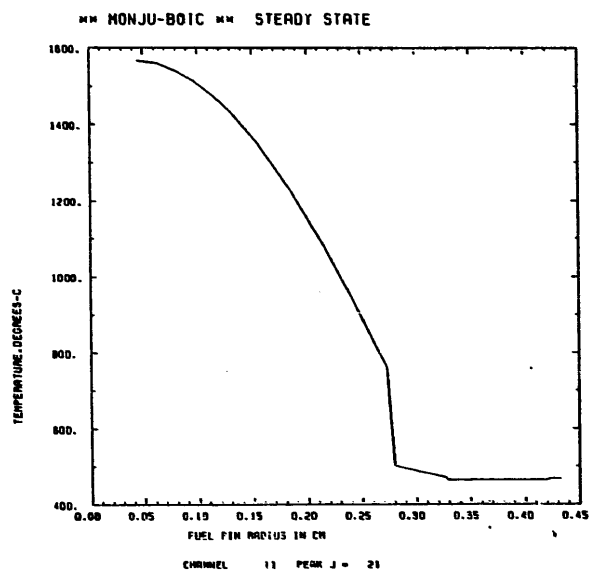


Fig.4.1-21(a) Radial pin temperature distribution in ch.11 for BOIC steady state

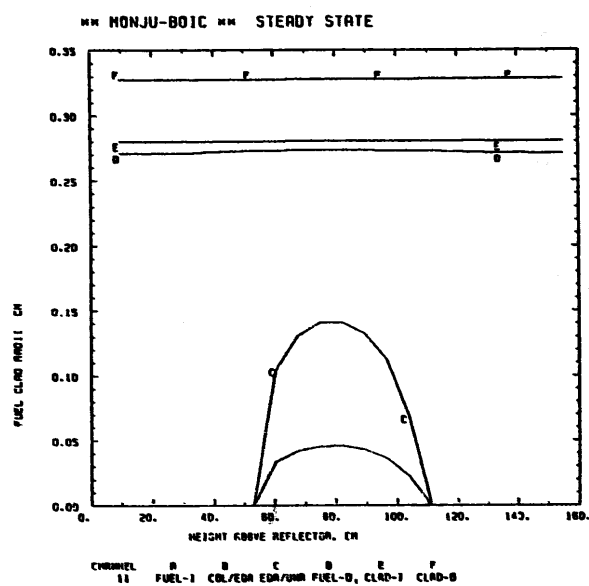


Fig.4.1-21(c) Fuel restructuring profiles in ch.11 for BOIC steady state

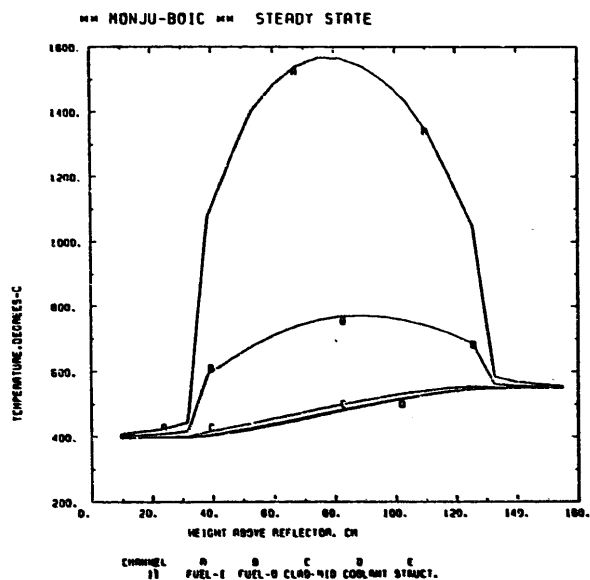


Fig.4.1-21(b) Axial temperature distributions of fuel, cladding, coolant, and structure in ch.11 for BOIC steady state

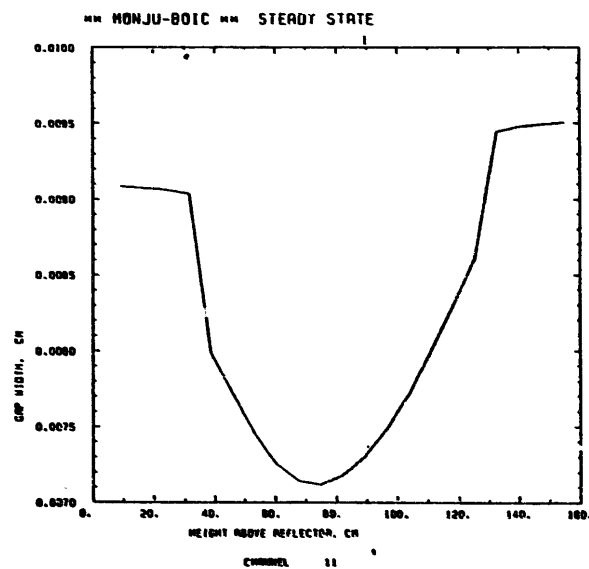


Fig.4.1-21(d) Fuel/cladding gap profile in ch.11 for BOIC steady state

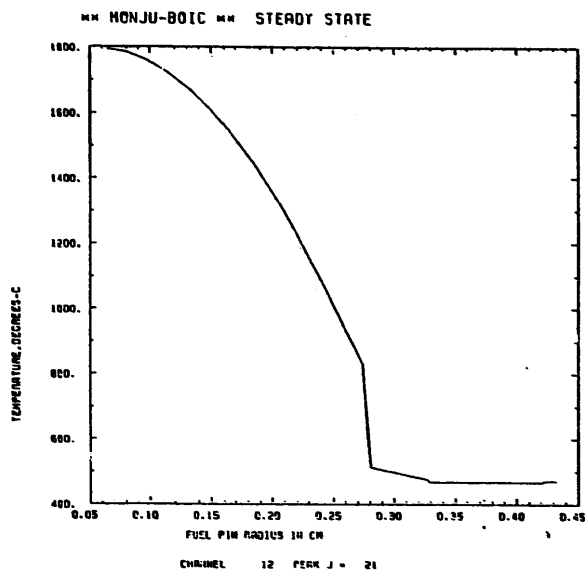


Fig.4.1-22(a) Radial pin temperature distribution in ch.12 for BOIC steady state

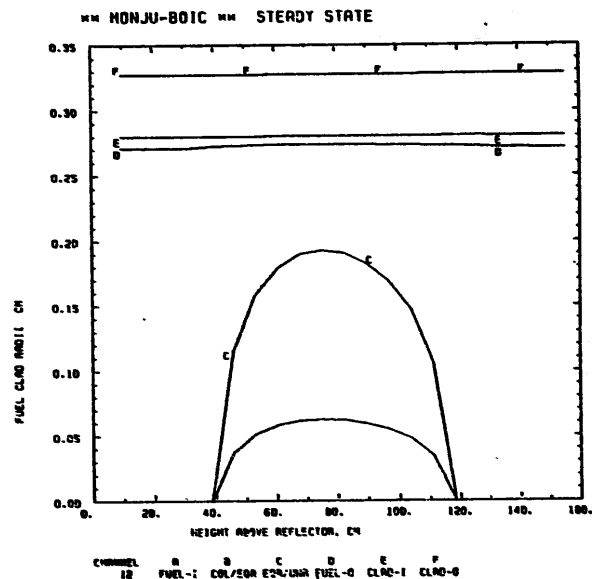


Fig.4.1-22(c) Fuel restructuring profiles in ch.12 for BOIC steady state

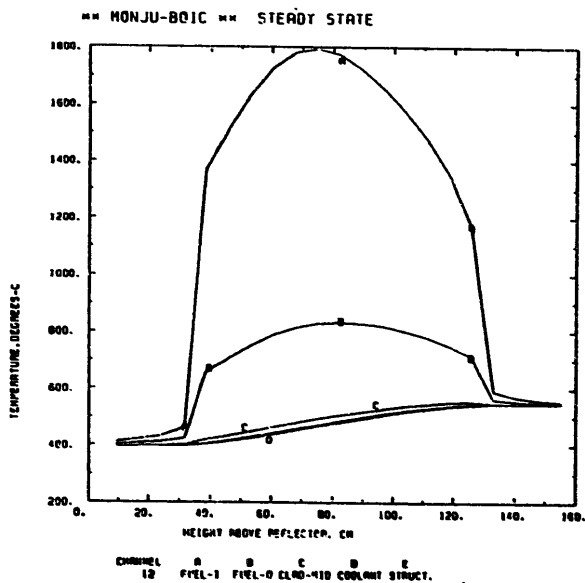


Fig.4.1-22(b) Axial temperature distributions of fuel, cladding, coolant, and structure in ch.12 for BOIC steady state

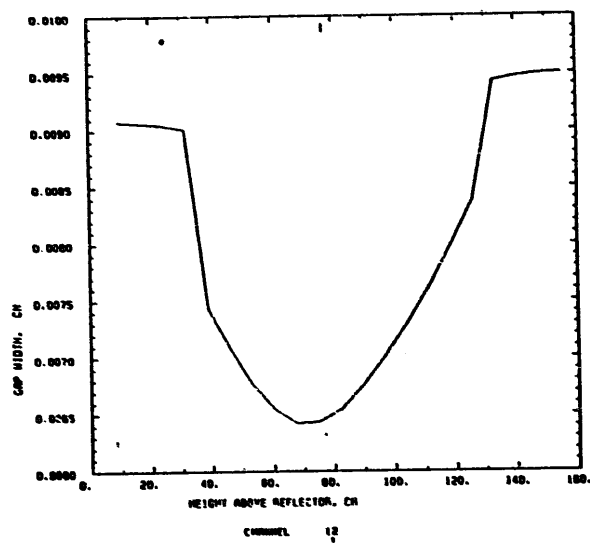


Fig.4.1-22(d) Fuel/cladding gap profile in ch.12 for BOIC steady state

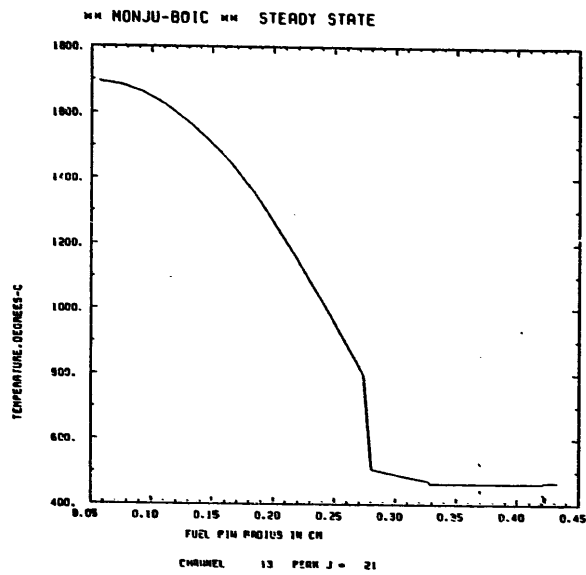


Fig.4.1-23(a) Radial pin temperature distribution in ch.13 for BOIC steady state

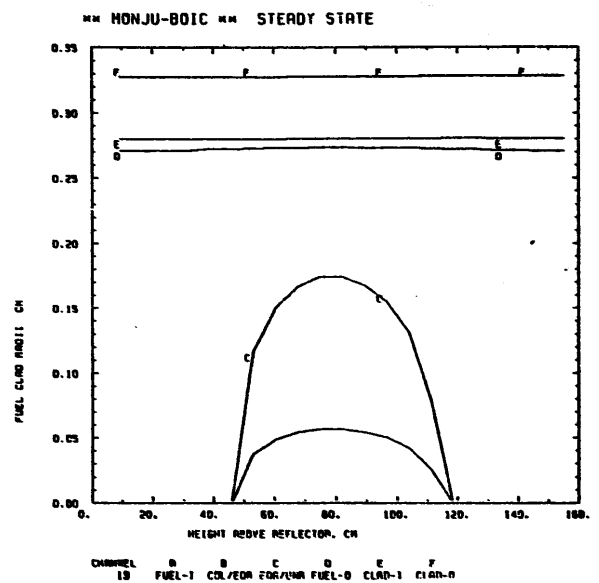


Fig.4.1-23(c) Fuel restructuring profiles in ch.13 for BOIC steady state

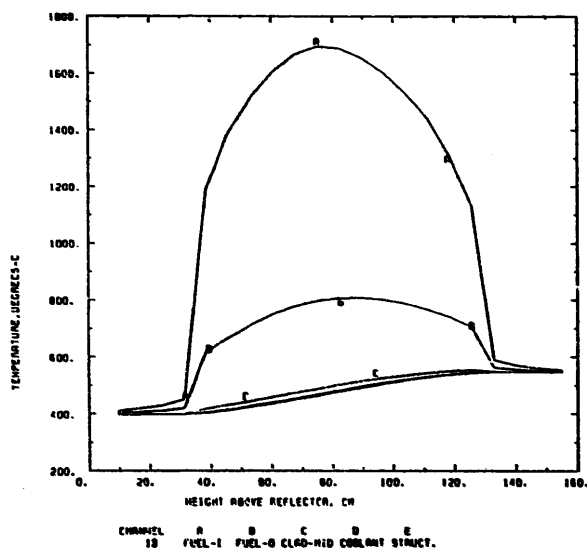


Fig.4.1-23(b) Axial temperature distributions of fuel, cladding, coolant, and structure in ch.13 for BOIC steady state

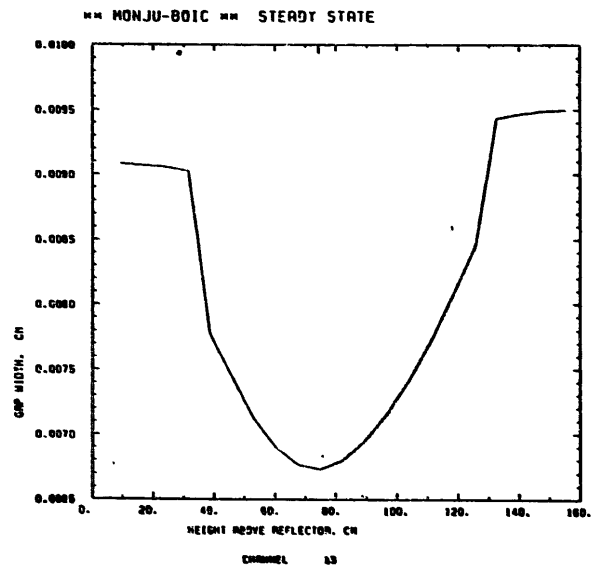


Fig.4.1-23(d) Fuel/cladding gap profile in ch.13 for BOIC steady state

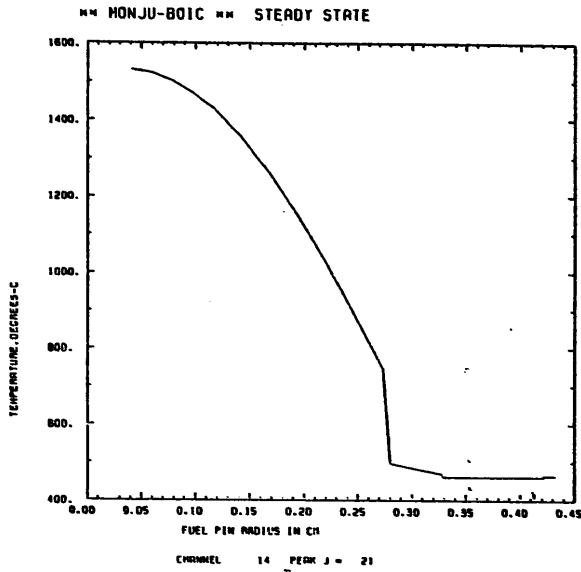


Fig.4.1-24(a) Radial pin temperature distribution in ch.14 for BOIC steady state

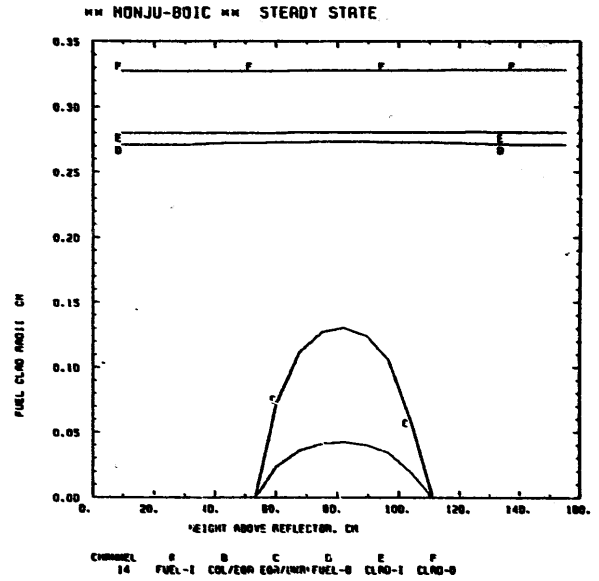


Fig.4.1-24(c) Fuel restructuring profiles in ch.14 for BOIC steady state

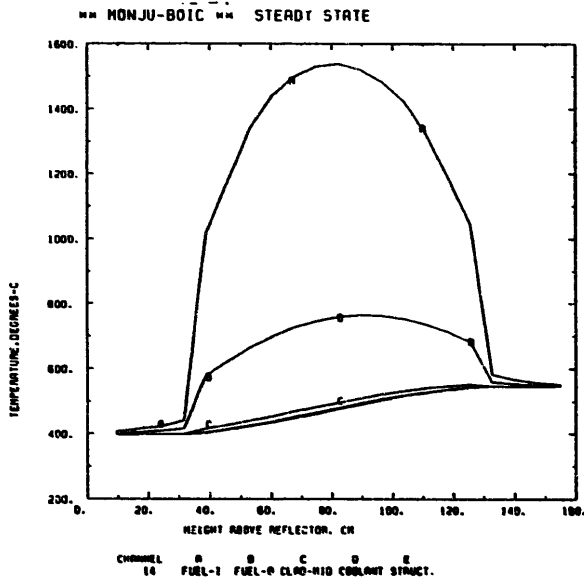


Fig.4.1-24(b) Axial temperature distributions of fuel, cladding, coolant, and structure in ch.14 for BOIC steady state

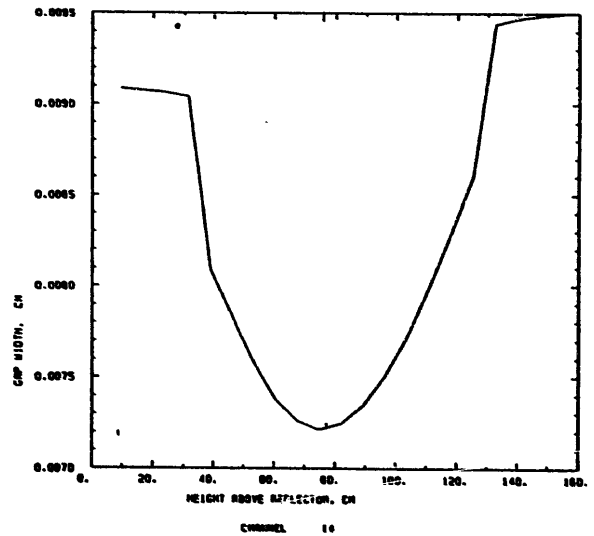
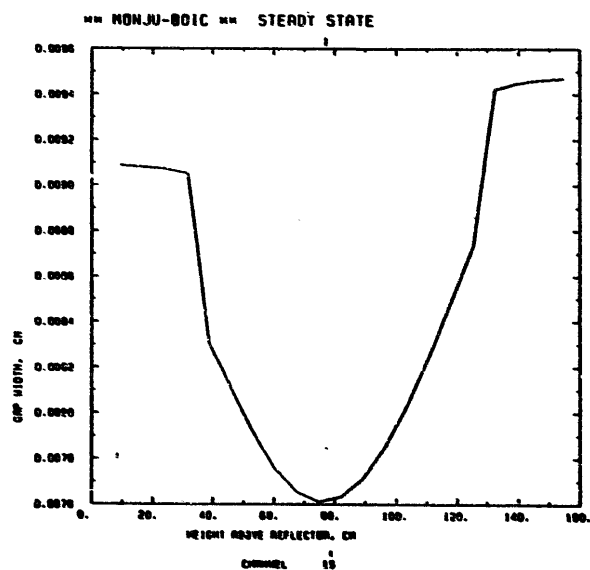
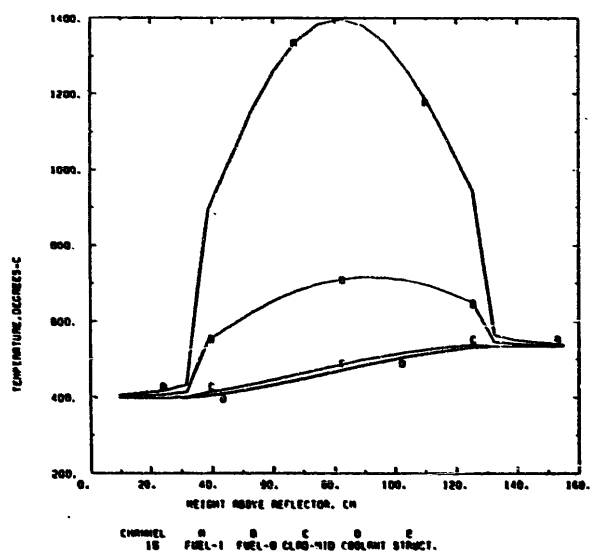
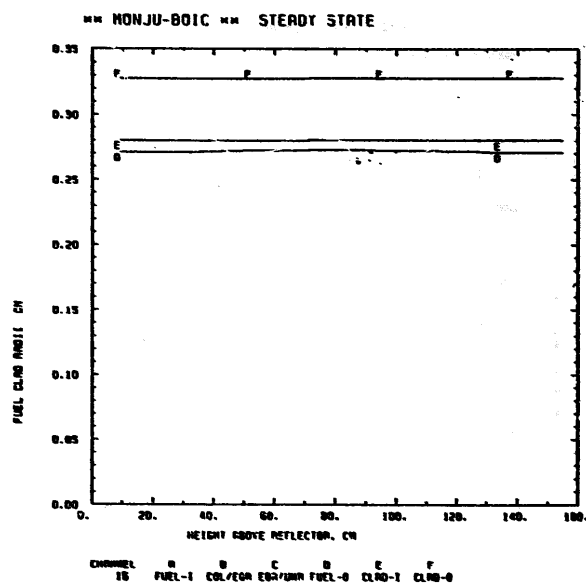
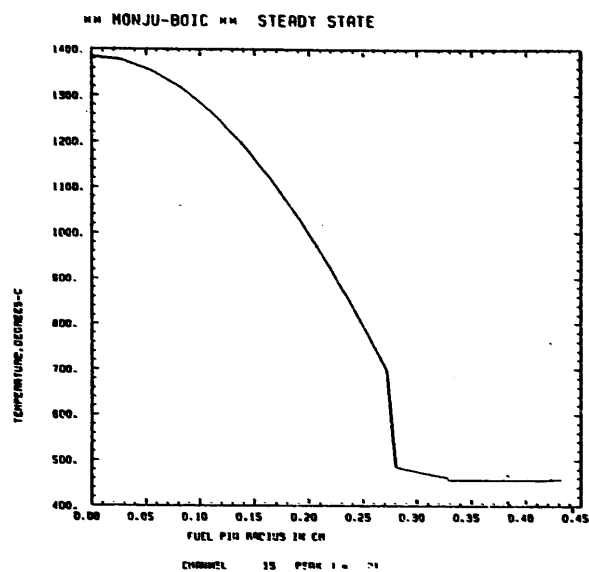


Fig.4.1-24(d) Fuel/cladding gap profile in ch.14 for BOIC steady state



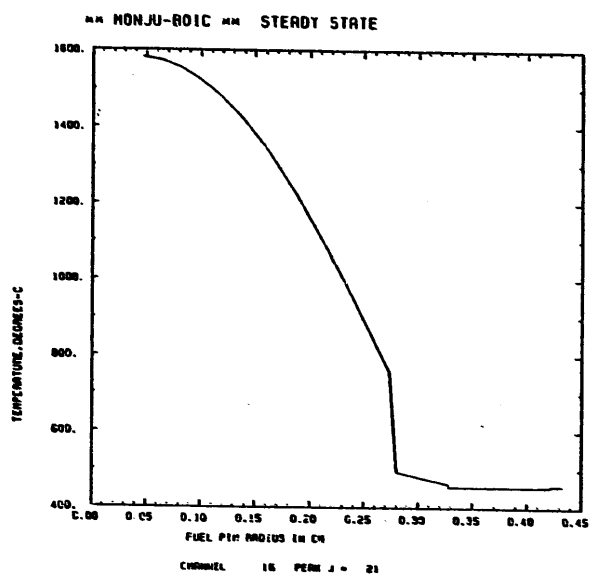
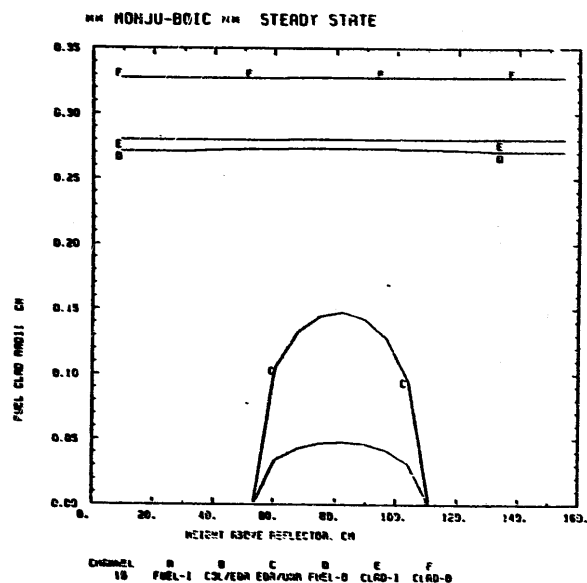


Fig.4.1-26(a) Radial pin temperature distribution in ch.16 for BOIC steady state



**Fig.4.1-26(c) Fuel restructuring profiles
in ch.16 for BOIC steady
state**

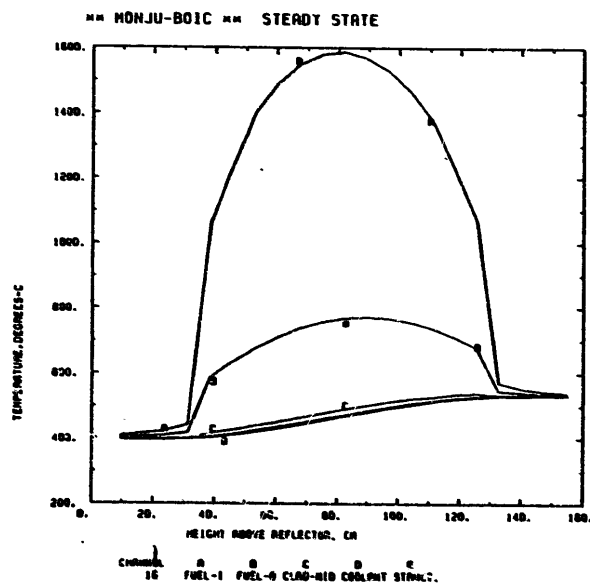


Fig.4.1-26(b) Axial temperature distributions of fuel, cladding, coolant, and structure in ch.16 for BOIC steady state

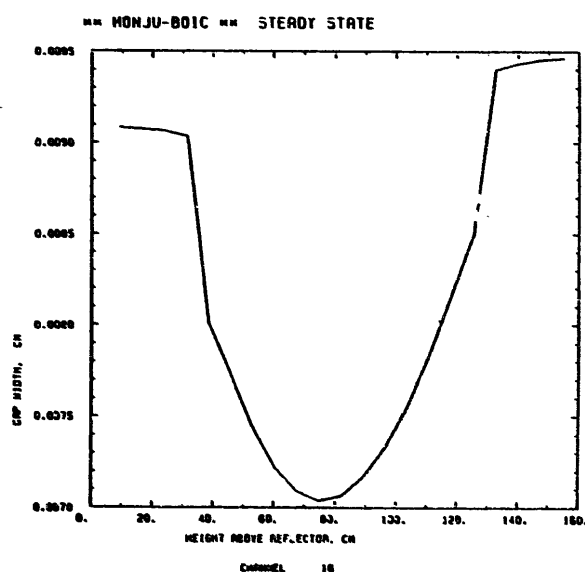


Fig.4.1-26(d) Fuel/cladding gap profile in ch.16 for BOIC steady state

4.2 炉心流量減少事故

4.2.1 概 要 (LOF)

4.2 炉心流量減少事故 (LOF)

4.2.1 概 要

LOF 事象の過程は① 電源喪失などによる炉心流量の減少, ② 除熱能力の減少による冷却材温度上昇, ③ 冷却材沸騰, ④ 冷却材ボイド効果による反応度挿入, ⑤ 出力上昇 (LOF driven TOP), ⑥ 燃料溶融及び燃料破損, ⑦ 燃料移動による反応度変化, ⑧ 即発臨界を越え, 出力暴走移行, and/or ⑨ 燃料掃除による反応度低下, and/or ⑩ Transition Phase への移行, ⑪ 事故後崩壊熱除去という以上のような現象となると考えられている。

従って, LOF 事象初期の基本的なパラメータは炉心流量と冷却材沸騰であり, 起因過程末期の炉心挙動は燃料スランピングと FCI によって支配され, 炉心崩壊過程, あるいは遷移過程への移行が決定される。

初装荷初期炉心に対する量も確からしいケースの解析によって LOF 事象では起因事故末期において出力暴走過程へ移行する可能性は小さいが, 炉心燃料の 50 % 以上が溶融し, いわゆる Transition Phase と呼ばれる現象へ移行する可能性が大きいことが示された。又, 起因事故過程が炉心崩壊過程へ移行する可能性を検討することを目的として燃料スランピング及び FCI に関するパラメータを保守側に評価した場合についてのパラメータ解析を実施した。また, 不確かさの幅の大きいギャップコンダクタンスについてのパラメータ解析も行なった。

第3章及び Table 4.2.1 に各ケースの基本的な解析条件を示した。以下に各ケースの ID 番号及び概要について記す。

〔基本ケース〕

- ① LF (BIC) -BE (C2100) : 最適パラメータケース (BE ケース)

〔もんじゅ炉心の最適パラメータを選定したケース〕

- ② LF (BIC) -EXNRC (C2108) : NRC 選定パラメータケース (EXNRC ケース)

〔米国 NRC が選定した基本パラメータを使用したケース〕

〔パラメータ解析ケース〕

- ③ LF (BIC) -RP (C2107) : パラメータ解析基準ケース (RP ケース)

〔パラメータ解析の基準としたケース〕

燃料スランピングに関するパラメータ解析

- ④ LF (BIC) -SDFRIC, SLP (C2112)

燃料スランピング時に燃料物質とナトリウム蒸気との friction を無視し, 燃料移動を容易にすることにより初期に挿入される正の反応度を保守側に見つめるケース。

FCI及び構造材蒸気圧に関するパラメータ解析

⑤ LF (BIC) -NSS, FCI 25, CNT (C2110)

燃料分散などの駆動力としての構造材蒸気圧の効果を無視し、負の反応度効果を押さえ、更にFCIの開始条件を炉心軸方向中心に固定し、25%溶融としてFCIによる正の反応度効果を早期、かつ大きくなるように見つめるケース。

FCIに関するパラメータ解析

⑥ LF (BIC) -BURST, FCI (C2113)

FCIの原因となる燃料ピンの破損が溶融キャビティ内圧による機械的な破損で引き起されると想定し、FCI条件を変えたケース。

ギャップコンダクタンスに関するパラメータ解析

⑦ LF (BIC) -GAPCON (C2109)

不確かさ幅の大きいギャップコンダクタンスに関し、ホットチャンネルの定格時設計最小値である $714 \text{ BTU/hr} \cdot \text{ft}^2 \cdot ^\circ\text{F}$ を一律に使用し、定常時に燃料の保有するエネルギーを保守側に変えたケース。

Table 3.3.1 に上記各ケースの主要パラメータの比較を、また、Table 4.2.1 に各ケースの主要な結果の比較を併記した。尚、各ケースに対する発生確率は定性的な5段階のカテゴリーに分類することができるが、これについては第5.1章を参照されたい。

本解析で実施した上記のパラメータ解析から初装荷炉心のLOF事象では起因事故末期には炉心の大部分が沸騰し、炉心燃料の50%以上が溶融することが示された。しかし、反応度的には冷却材ボイド効果、燃料スランピング及びFCIなどによる正の反応度付加によっても即発臨界を超えるのは一部のケースであり、この場合も反応度挿入率は小さく、激しい出力暴走に到ることはなかった。従って、初装荷炉心のLOF事象ではいわゆるTransition Phaseと呼ばれる事象に移行する可能性が大きいと考えられる。

4.2.2 基本ケースの解析(LOF)

4.2.2 基本ケースの解析

(1) 最適パラメータケース（BEケース）の解析

(i) 過渡出力・反応度変化

BE ケース（C 2100）の事象シーケンスを Table 4.2.2 及び Fig. 4.2.1 に、原子炉出力及び全反応度の変化を Fig 4.2.2 に、各成分反応度の変化を Fig. 4.2.3（全時間）と Fig. 4.2.4（燃料破損時刻近傍）に示す。

本解析で LOF の起因事象として想定した電源喪失が発生すると、冷却系のポンプがトリップされ、炉心流量が Fig 4.2.5 に示すように低下する。このため、炉心の除熱バランスが崩れ、冷却材の温度上昇が生じる。もんじゅの設計条件では炉心流量が $1/2$ となる時刻はポンプトリップ後約 5 秒である。

初装荷炉心の BE ケースでは事故発生後原子炉出力はドブラー効果及び燃料軸方向膨張などの負の反応度フィードバック効果により若干低下するが、それ以上に流量の低下が大きく、冷却材及び被覆管の温度が上昇する。事故発生後約 16.2 秒には最初の冷却材沸騰が出力／流量比及び出力の高い第 2 チャンネル（第 3 流量領域）の上部ブランケット中央近傍で生ずる。Fig 4.2.6～8 に Ch. 12, Ch. 2, 及び Ch. 8 に対する沸騰後の集合体出入口流量及びボイド領域の過渡変化を示した。図示した様に冷却材沸騰によるボイド領域は沸騰開始後約 70 msec で炉心中央に達し、約 1.7 秒で下部ブランケット領域から集合体出口近傍まで拡大進展する。本ケースでは移動液膜モデルを仮定しているため、ドライアウト領域が冷却材のチャギングに対応して生成・消滅を反復する。沸騰開始後 1.5～3.0 秒の範囲内で炉心高さ 100 cm のあたりで被覆管の内側溶融が始まり 2～3 秒後には炉心軸方向全領域（1 つのチャンネル）の溶融に進展する。

冷却材沸騰によるボイド化の進展によって正のボイド反応度が投入され出力が急上昇し燃料、及び被覆管の加熱速度が増大する。各チャンネルのボイド反応度変化を Fig. 4.2.9, 10 に示し、又、Fig. 4.2.11 に Ch. 12 の燃料と被覆管の温度変化を示した。Fig. 4.2.1 に示すように事故開始後約 5.5 秒間で炉心全域が沸騰を開始し、この沸騰は起因事故末期まで継続する。

このため各チャンネルのボイド反応度効果（Fig 4.2.3 参照）により最大約 1 \$ の正のボイド反応度が挿入されるが、これのみでは即発臨界となることはない。

また、冷却材の沸騰は定常時の出力と流量との相関でほぼ決まるものと考えられ、出力／流量比順位に従って沸騰が始まりこれは後述のパラメータ解析でも変わらない。又、各チャンネルの沸騰により集合体中には逆流が生じ、このため入口プレナムの圧力は Fig 4.2.5 に示した様に振動し、かつ増大する。

最初の冷却材の沸騰開始後約 3.1 秒後に冷却材沸騰が早くかつ出力の高い第 4 チャンネル

(第2 流量領域)で最初の被覆管溶融(第4チャンネルの沸騰後約3.0秒)が炉心上部(炉心部/軸ブランケット境界)で生じ、その後約1.3秒で完全に溶融し移動を開始する。Fig. 4.2.12と13に各チャンネルに対する被覆管反応度変化を示し、又、Fig 4.2.14にCh. 4に対する被覆管の移動挙動を示した。炉心上端近傍で始った溶融移動は冷却材蒸気流、及び重力によって駆動され、溶融開始後約1秒で炉心領域の被覆管は上下方向に分散する。第4チャンネルの被覆管の移動開始後Ch. 1～5, Ch. 8～10, 及びCh.12など全炉心の50%の集合体で被覆管が移動する。このため被覆管移動による反応度投入量は起因過程末期に5\$以上となり、各成分反応度中最大の正の反応度効果を示す。

被覆管の溶融移動は比較的緩慢な過程であるため反応度挿入率は小さく、出力暴走を駆動するには不十分である。しかし、溶融移動後の被覆管挙動(流路への固着による閉塞の発生等)は起因過程後の炉心挙動(特にTransition Phase)に重大な影響を与えると考えられるため、SAS 3Dモデル(CLAZAS モデル)の妥当性等詳細な検討が今後の課題として残される^{78),79)}。

事故発生後22.0秒で完全にボイド化した第4チャンネルの炉心中央よりやや上方(炉心高さ約90cm)に於ける燃料溶融割合が50%に到達し、燃料移動(燃料スランピング)が始まる。Fig 4.2.15と16に各チャンネルの燃料移動に伴う反応度変化を示し、又、Fig 4.2.17に第4チャンネルの燃料破損領域の圧縮性燃料(dust cloud)に対する密度変化を示した。又、Fig 4.2.24にfuel slumpingを生じたチャンネルの圧縮性燃料密度分布を示した。

以下各チャンネルのfuel slumping 挙動に関し記述する。

燃料の破損開始に伴い、炉心中央(Ch. 4, 10, 12)及び外側炉心第1列(Ch. 5)にある出力の高い集合体では破損領域より上方に存在するペレットが炉心中央部へ落下し、正の反応度が投入され炉出力が急上昇する(最大比出力は定格の567倍)。このため、他の低出力チャンネルの燃料溶融が進展しfuel slumpingが生ずる。高出力チャンネルでは炉出力の上昇に起因して燃料温度が急上昇し、最大温度は5000 °K程度となる。このため、これ等の集合体の炉心中心近傍には燃料蒸気圧^{*}が生成され、これを駆動力として軸方向燃料分散を生ずる。分散初期は破損領域の圧力が高いため-300 \$/S程度の大きな負反応度挿入率を示す。しかし、圧縮性領域が急激に膨張することにより燃料蒸気圧は直ちに低下し、その後は慣性による運動が主体となる。このため、投入反応度の時間変化はステップ状となる。この様な高出力集合体の燃料分散により約-12\$が投入され起因過程は完全に炉停止状態に到達する。BOICでは燃料ペレット中にFPガスが存在しないため、燃料挙動は平衡炉心に比較し、極めて単調となる(第5.2章及び第6.2章参照)

一方、低出力チャンネルの燃料は上記高出力チャンネルのfuel slumping過程と全く異なる挙動を示す。低出力チャンネルのfuel slumpingは高出力チャンネルの燃料移動に起因する

注) * 燃料蒸気圧はSAS 3Dのモデル¹⁷⁾では2相平衡状態の飽和蒸気圧で記述される。

出力上昇によって駆動されるため燃料温度の上昇が高出力チャンネルより遅延し、燃料の移動が顕著になる時点ではすでに炉出力が低下している。このため、低出力集合体の燃料蒸気圧生成は不十分であり上部ペレットの重力落下に対抗し、燃料を分散させる圧力源とならない。従ってこれ等の集合体では燃料落下（上部ペレットだけでなく、破損領域自体も重力落下する）のため正反応度が投入される。Fig 4.2.4 に示した様に全燃料反応度は高出力チャンネルの負反応度効果により一時的に -12% 程度が投入された後、低出力チャンネルの燃料落下により全反応度は再び上昇する（Fig 4.2.24 参照）。しかし、原子炉は完全に未臨界状態にある。

本解析では燃料スランピング開始条件及びFCI開始条件共に同一（燃料溶融割合50%）条件を想定していることから、上記の燃料破損条件を満足した部分、即ち炉心中心附近に冷却材が存在すればFCIが発生し、冷却材が沸騰などによりボイド化していれば燃料スランピングが発生することになる。

初装荷炉心のBEケースではFCIが生じるのは沸騰開始の最も遅い第15チャンネル（炉心最外層）のみであり、それ以外のチャンネルでは冷却材がボイド化しているため fuel slumping が起こる。本ケースでは第15チャンネルに生じたFCIの計算過程に不都合を生じ計算を継続することができなくなったためFCIの発生を強制的に停止させた。起因過程最終炉心に関する情報を得るため、このチャンネルの燃料破損モードを fuel slumping と仮定し計算を続行した。Ch. 15のボイド係数が負であり、後述する様にBOICでは冷却材中への放出燃料量が小さいためFCIによる反応度効果は極めて軽微であると考えらる。更に燃料破損時刻が全チャンネル中最後であるためこの様な変更が事象進展に与える影響は程んどない。

2, 10-11)

SAS/FCIモデルは一般にFCIチャンネルの燃料移動反応度を過大評価すると考えられているが、上述した理由によって本ケースに対するFCIモデルの不確定性は小さいと判断される。

本ケースでは燃料スランピング初期の正の反応度効果により全反応度が一時的に即発臨界を超えるが最大 0.7% 程度の超過（Fig. 4.2.2）であり、燃料分散及び急激な燃料温度上昇に伴うドップラー効果などにより大きな負の反応度が挿入され、出力は急激に低下することになる。

また、燃料スランピングによる反応度の変化率はFCIによる反応度挿入率より小さいため、BEケースにおいては即発臨界附近での全反応度変化率は $5\%/sec$ 以下となり急激な炉心崩壊過程に至ることはない。

(ii) 起因過程末期の炉心状態

Fig. 4.2.18～20に事故後22.09秒（ $\rho_{net} = 0.92\%$ ）に於ける燃料破損状態、炉心燃料温度分布、及び炉心ボイド率を示した。又、Fig 4.2.21～23に完全に炉停した $T=22.59$ 秒（ $\rho_{net} = -4.9\%$ ）に於ける炉心状態を示した。前者は最大出力点の直後にあり、炉心燃料平均温度は約 $3350^\circ K$ となっている。後者では炉出力が低下してから約500msec経過しているため、燃料温度がやや低くなっている。この時点の炉心ボイド率は88%、燃料溶

融割合は75% (約5000 kg), 溶融燃料の内部エネルギー (above solidus) は約2900 MJ に達している。両時刻間で炉心のボイド状態には顕著な差異がない (ボイド化が高度に進展しているため) が, 燃料温度分布は燃料が断熱に近い状態におかれているため平坦化している。両時刻共, 炉心内には1気圧の沸点 (3760 °K) を越す燃料が存在する。このため2相燃料が膨張することにより系外へ仕事をすることが可能である。最も保守的な等エントロピー膨張を仮定すると, 1気圧までの燃料蒸気膨張による有効仕事量は $T = 22.09$ 秒では約40 MJ, $T = 22.59$ 秒では約60 MJ となる。Fig 4.2.25 及び 26 に両時刻に於ける燃料膨張過程の $P-V$ 曲線とこれに対応する有効仕事量変化を示した。(燃料膨張過程の詳細は報告書Ⅱの第5章参照)

以上記述した様に本ケースの起因過程末期の炉心状態は出力レベルが低いにもかかわらず炉心燃料の75%が溶融している。従って, 起因事故過程以降には炉心の meltdown, あるいは再臨界の可能性が残されており, いわゆる遷移過程へ移行するものと考えられる^{5, 44)}。

(2) NRC 選定パラメータケース (EXNRC ケース) の解析

EXNRC ケース (C2108) は, 米国 NRC が CRBRP の解析で燃料蒸気による仕事量を1200 MJ と評価したケースのパラメータを用いた場合に於けるもんじゅ炉心の起因事故挙動を評価する目的で解析した。

(i) 過渡出力・反応度挙動

EXNRC ケースの事象シーケンスを Table 4.2.3 及び Fig.4.2.27 に, 原子炉出力及び全反応度の変化を Fig.4.2.28 に, 各成分反応度の変化を Fig.4.2.28 ~ Fig.4.2.30 に示す。

EXNRC ケースの電源喪失による炉心流量の減少は BE ケースと同一 (Fig. 4.2.5) である。BE ケースと EXNRC ケースとの解析条件の相違は第3章 (Table 3.3.1) で述べてあるが, 起因事故初期段階での主要な相違は密度フィードバック効果, 即ち燃料軸方向膨張効果を見捨てることである。このため初期の原子炉出力の低下は BE ケースより小さく冷却材温度上昇が早まる。事故時の燃料の軸方向膨張量は初期温度, 燃焼度, 及び加熱速度等に強く依存すると考えられ⁶²⁾, 現段階では確定していない。このため, 各国の HCDA 解析では燃料の軸方向膨張量には大きな不確定性を想定している^{2, 4, 7, 9)}。

軸方向の熱膨張による反応度効果を見捨てることによって, 最初の冷却材沸騰は BE ケースより約0.9秒早まり, 事故後約15.3秒で第2チャンネルから冷却材沸騰が起る。Fig. 4.2.31 に各チャンネルに対する冷却材反応度変化を示した。又, Fig. 4.2.32, Fig. 4.2.33 に Ch. 2 及び Ch. 4 の沸騰パターンを示す。EXNRC ケースの沸騰領域は約70 msec で炉心中央に達し, 約1.7秒後に集合体出口から炉心下端に進展する。この様な挙動は BE ケースとほぼ同じであるが冷却材残留液膜の移動を押えた (静止液膜モデル) EXNRC ケースでは dryout

領域の炉心上部への拡大がない。

Fig. 4.2.34 に各チャンネルに対する被覆管反応度変化を示し、Fig. 4.2.35 に Ch. 4 の被覆管挙動を示した。EXNRC ケースでの最初の被覆管の溶融は BE ケースと同様に第 4 チャンネルから始まるが、これは第 4 チャンネルの沸騰開始後約 2.6 秒 (BE ケースでは約 3.0 秒) であり、BE ケースより約 0.4 秒早まる。被覆管溶融が早くなる理由は燃料の軸方向膨張による負反応度効果を見逃したため出力上昇率が增大したことであるが更に、EXNRC ケースの被覆管ドライアウト条件 (液膜の移動なし、最小液膜厚さ 87μ (BE ケースでは 1μ)) が厳しいことも一要因として考えられる。BE ケースで被覆管移動を生じたチャンネルのうち、第 3、第 8、第 9 及び第 12 チャンネルは起因事故末期 (計算終了時) までには移動条件を満足せず、この結果、被覆管移動を生ずる集合体数は BE ケースの $1/2$ (全炉心の 20%) となる。これ等の原因はいずれも EXNRC ケースでは出力の上昇が早いために、被覆管への熱移行より早く燃料温度が上昇するためと考えられる。即ち、BE ケースでは冷却材沸騰後から燃料破損まで約 5.7 秒あり、この間の出力は定格の約 10 倍以下であるが、EXNRC ケースではこの間が約 4.3 秒と短かく、出力も定格の約 10 倍以上となっており、燃料ペレットの持つエネルギーが大きくなる。また、被覆管の溶融移動は EXNRC ケースでは BE ケースより約 10 cm 下方で発生 (Fig. 4.2.35 参照) するが、これは残留液膜の移動を見逃したためと考えられる。又、出力上昇率が大きいことに起因して起因過程末期に至るまでの軸方向の被覆管移動は小さく反応度投入量 (起因過程末期で 1.1 \$ 程度) は BE ケースの $1/4$ 程度になる。

Fig. 4.2.36 に各チャンネルに対する燃料反応度を示した。

本ケースの最初の燃料破損は事故発生後約 19.6 秒で第 4 チャンネルに発生する。これは被覆管の移動開始から約 0.6 秒後であり、BE ケースの被覆管移動—燃料破損時間差 (1.3 秒) の約 $1/2$ に短縮される。また、最初に燃料スランピングが生じたあと、約 47 msec 間に出力の低い Ch. 14, 15, 16 以外の全てのチャンネルで燃料スランピングが起るが、これも BE ケース (約 89 msec) の約 $1/2$ である。Fig. 4.2.36 に示した様に燃料スランピング初期に燃料落下によって約 30% の正反応度が投入され、炉出力は急上昇する。このため全反応度は即発臨界を超過し、最大 1.004 \$ を示す。この時点で高出力チャンネルの燃料最高温度は 4300°K 近くまで上昇し燃料蒸気圧が増大するため燃料の軸方向分散が始まる (Fig. 4.2.37 参照)。本ケースでは fuel slumping による正反応度が投入されている段階で冷却材計算に不都合が生じ計算を中止せざるを得なかった。しかし、この時点以降には燃料蒸気圧の生成が顕著となり、BE ケース同様燃料分散による負反応度が投入される。更に、以下に述べる様に FCI による反応度効果が殆んど 0 であることから、起因過程は出力暴走状態に移行することなく核的炉停止状態に移行すると考えられる。Fig. 4.2.43 には計算終了時点に於ける圧縮性燃料密度分布を示したが、BE ケースの結果と比較するとこれは燃料分散開始直前の状態と考えられる。

EXNRC ケースでは第 14 及び第 16 チャンネルのピーク出力ノードより 1 ノード高い炉心中央で FCI (BE ケースでは燃料スランピング) が発生する。これは EXNRC ケースの事象進展が早く、最後に沸騰する第 14 及び第 16 チャンネルの沸騰領域が燃料破損条件 (燃料ペレット断面 50 % 溶融) が満足される領域 (炉心中心附近) まで拡大していないためである。Fig. 4.2.38 に Ch.16 に対する FCI 領域拡大進展の様子と燃料放出速度変化を示した。本ケースでは FCI が発生する集合体のボイド係数が負であるため、冷却材沸騰により負の反応度が投入される。又、BOIC では燃料溶融キャビティ内に F P ガスが存在しないため fuel compaction による正の反応度効果はほとんど 0 である。従って、本ケースでは FCI 現象が全反応度、及び炉出力変化に与える影響は極めて小さいと結論できる。

以上述べた様に初装荷炉心では冷却材沸騰のみでは原子炉は即発臨界 (1 \$) をこえるようなことはなく、燃料破損に伴う燃料移動等の正の反応度効果により即発臨界に到る。燃料軸方向膨張による負反応度フィードバックを無視した効果は炉出力上昇を加速し、事象進展の同時性を促進する。この結果、燃料破損開始時点の炉心ボイド率が約 20 % 減少し、FCI が発生する。しかし、FCI による反応度効果は極めて小さく事象進展に影響しない。本ケースの最大到達全反応度は 1.004 \$, 最大比出力は約 400 P₀ となるが、出力上昇の途中で計算を打ち切ったため実際には BE ケースとほぼ同程度の結果となることが推定される。従って、FCI 発生が顕著でない場合は燃料の軸方向膨張の効果は起因過程の事象展開に大きな影響を与えないことが結論される。

(ii) 起因過程末期の炉心状態

Fig. 4.2.40 ~ 43 に起因過程末期 ($T = 19.70 \text{ sec}$, $\rho_{\text{net}} = 0.98 \$$) の燃料破損状態、炉心燃料温度分布、ボイド分布、及び燃料密度分布を示した。炉心ボイド率は約 70 %, 燃料溶融割合は約 65 %, 燃料内部エネルギーは約 2000 MJ となる。

(i) に記述した様に、本ケースは完全に核的炉停止状態に移行するまで計算していないが、BE ケース同様に出力暴走行状態に移行することなく燃料蒸気圧による燃料分散のため起因過程は終息すると考えられる。このため、上記時刻に於ける燃料蒸気有効仕事量は Fig. 4.2.44 に示した P-V 曲線に表わされる様に 7.4 MJ となるが、最終炉心に於ける有効仕事量の値は BE ケースと同程度になると推定される。従って、起因過程後の炉心は緩慢な過渡変化を示す遷移過程へ移行すると考えられる。

(3) 基本ケース解析の結論

BE ケース及び EXNRC ケースの解析結果から得られる結論は、初装荷炉心に対する起因事故過程が出力暴走による厳しい炉心崩壊過程へ移行する可能性は極めて小さいということである。

ここで得られたような結果となる最大の原因は、冷却材沸騰による出力上昇が比較的緩慢であるため炉心のボイド化が高度に進展し急激な反応度挿入をひきおこす要因となるFCI事象が発生しないことである。

初装荷炉心では炉心のかなりの領域でボイド化（BE ケース約88％，EXNRC ケース約69％）した後炉心燃料が熔融崩壊に到るため、炉心内側に於けるFCIの発生が抑制される。このため、即発臨界をこえる要因は燃料移動（スランピング^{*}）である。これは初期に一時的に正の反応度効果を与えるが、すぐに燃料蒸気圧などにより燃料分散が生じ、負の反応度効果を与える。また、この時点で負のドブラー効果も急激に増大する。

従って、初装荷炉心では起因事故段階での激しい出力暴走は起りにくいと考えられるが、熔融燃料の大半が炉心に残留しており、その後の熔融炉心の挙動によっては再臨界の可能性が残されているため、いわゆる Transition Phase の評価及びPAHR（Post Accident Heat Removal）の評価が必要である。

注）＊燃料破損領域より上方にある intact pellet の重力落下。

4.2.3 パラメータ解析(LOF)

4.2.3 パラメータ解析

前節で述べた基本ケースの解析結果から、初装荷炉心の LOF 事象では急激な炉心崩壊には到らない可能性が大きいことが示された。ここでは起因過程が炉心崩壊過程へ移行する可能性を更に検討することを目的としたパラメータ解析を 5 ケース実施した。以下に各ケースの解析結果を述べる。

(1) パラメータ解析基準ケース (RP ケース) の解析

パラメータ解析の基準として RP ケースを設定した。この RP ケースと EXNRC ケースとの主要な相違は RP ケースでは FC I の混合時定数 10msec の Cho-Wright モデルを考慮すること (EXNRC ケースでは瞬時混合を仮定)、冷却材液膜の移動を考慮することである (詳細は第 3 章参照)。

(i) 過渡出力・反応度挙動

RP ケース (C2107) の事象シーケンスを Table 4.2.4 及び Fig. 4.2.45 に、原子炉出力及び全反応度の変化を Fig. 4.2.46 に、各成分反応度の変化を Fig. 4.2.47 に示した。

RP ケースの冷却材沸騰に至るまでの事象展開は EXNRC ケースと全く同一である。このため、冷却材沸騰は EXNRC ケースと同様に事故後約 15.3 秒で第 2 チャンネルより生じる。

冷却材沸騰後、被覆管のドライアウト及び溶融が生じるが、RP ケースは EXNRC ケースより遅れる傾向になる (例えば第 2 チャンネルの被覆管溶融は約 0.7 秒遅れる)。この遅れが BE ケースと同程度である (Table 4.2.2 ~ Table 4.2.4 参照) ことから、冷却材液膜の移動効果によるためと考えられる。即ち、BE ケース及び RP ケースでは液膜の移動を考慮したことから、ドライアウト領域の rewet などにより被覆管の溶融が遅れると考えられる。Fig. 4.2.51 に起因過程末期の燃料破損状態を示したが被覆管が溶融移動する集合体数は EXNRC ケースと全く同一である。

Fig. 4.2.48 に Ch. 2 に対する集合体出入口流量変化、及び冷却材沸騰挙動を示す。ここで BE ケース及び RP ケースの冷却材の沸騰挙動を比較 (Fig. 4.2.7 参照) すると、RP ケースでは沸騰領域の拡大及び被覆管の溶融が BE ケースより若干早い。これは、燃料の軸方向膨張による負反応度効果を無視する本ケースの方が出力上昇が早く、事象進展が加速されるためである。

一方、同時に沸騰を開始する EXNRC ケースと RP ケースとでは RP ケースの方が沸騰の拡大が遅い (Fig. 4.2.32 参照) このため、冷却材沸騰による反応度投入速度は RP ケースの方が小さくなる。この原因は本ケースの液膜最少厚さが大きい (RP ケースでは 8.7×10^{-3} cm, EXNRC では 10^{-5} cm) ためボイド領域の液膜からの冷却材蒸気量が小さく液体スラグの加速が抑制されることにある。

以上記述した様に BOICでは沸騰モデルの差異に起因して本ケースの起因過程の事象展開は EXNRC ケースにより幾分緩慢となる。ただし、平衡炉心ではペレット内に残留する FP ガス算出モデル^{23, 24, 26)}の差異も事象展開に反映されるため、この限りではない。

Fig. 4. 2. 49 に各チャンネルに対する燃料反応度変化を示した。

RP ケースの場合、最初に燃料スランピング条件が満足されるのは事故後約 20.2 秒（第 4 チャンネル）であり、これは EXNRC ケースより約 0.6 秒ほど遅い。又、燃料破損は第 4 チャンネルの破損後約 99msec 間に第 15 チャンネルを除いた全てのチャンネルで生じる。これは EXNRC ケース（約 47msec）の燃料破損伝播時間の約 2 倍である。fuel slumping 初期の燃料落下による反応度変化は、EXNRC ケースの結果とほぼ同等である。

燃料破損集合体のうち、FCI となるのは第 16 チャンネルのみであり、その他は燃料スランピングとなる。EXNRC ケースでは第 14 チャンネルでも FCI となったが、これは前節で述べたように破損条件を満足した位置での冷却材の有無によるものである*（Ch. 16 の FCI 開始位置は、RP ケースと同じく炉心中央である）。

ここで、FCI パラメータは RP ケースと EXNRC ケースとでは FCI 時の混合時定数（EXNRC ケースでは瞬時混合、RP ケースでは 10msec）に相違があるが、いずれも低出力、低反応度効果の領域（炉心外側）であるために全反応度に寄与する割合は小さい。また、燃料放出量が少いので FCI 挙動に関して RP ケースと EXNRC ケースとの間に顕著な相違はない（Fig. 1. 2. 50 参照）。放出燃料量が少ないのは、BOICでは FP ガスが存在せず初期封入ガスの膨張によって発生した圧力だけで熔融キャビティ内容物が放出されるためである。

本ケースでも冷却材沸騰による冷却材ボイド効果のみにより全反応度が 1 を越えることはなく、その後の燃料移動、被覆管移動に伴う反応度効果により全反応度が増大する。特に数十 msec のオーダーで炉心の広範囲に生じる燃料スランピングは重要であり、これ迄に述べた基準的な BE ケース、EXNRC ケースと同様 RP ケースでも燃料熔融移動（燃料スランピング）に伴う一時的な正の反応度効果により急激な出力上昇を引き起こしている。

これらの基本的な 3 ケースの中で RP ケースは即発臨界にも到らず（最大で約 99%）、最大出力も定格の 239 倍（EXNRC ケースでは約 391 倍）程度であり、その後 fuel dispersal 及びドブラー効果などにより出力は急激に低下する。（Table 4-2-1 参照）これは RP ケースでは EXNRC ケースよりも燃料移動開始の各チャンネル間での時間遅れが大きいために、初期の正の反応度効果の重ね合わせた値が小さいためと、更に BE ケースより早期に燃料破損が生じるために冷却材沸騰の拡大、即ち冷却材ボイド反応度効果が小さいうちに fuel dispersal などの負の反応度効果により出力が低下する為である。

注) * EXNRC ケースで FCI を生じた Ch. 14 が本ケースでは fuel slumping となった理由は本ケースの方が出力上昇率が小さく炉心のボイド化がより進展したためである。

EXNRC ケースと同じく、本ケースでも炉出力が最大値をとった直後に冷却材計算に不都合を生じ SAS 3D 計算を打ち切った。しかし、この時点は燃料最高温度が 3800 °K 以上に到達しているため、燃料蒸気圧を駆動力とする燃料分散過程の直前と考えられる。実際、Ch. 10 の燃料反応度は減少し始めている。従って本ケースの最大到達反応度、及び最大比出力はこれ以上計算を続行しても変化しないと推定される。最大比出力到達点以降の炉心挙動は(4)に述べる BURST・FCI ケースの項を参照されたい。

従って、これ迄に述べた基本的な 3 ケースの解析結果から、もんじゅ初装荷炉心の LOF 事象では起因事象段階においては即発臨界を少くとも数 msec 以上にわたって大幅を超えるような大きな正の反応度挿入を与え続けるような要因^{28, 29)}がなく、出力暴走（炉心崩壊過程）には到らないことが示された。

(ii) 起因過程末期の炉心状態

Fig 4.2.51 ～ 54 に計算終了時点（ $T = 20.3 \text{ sec}$, $\rho_{\text{net}} = 0.98 \$$ ）の燃料破損状態、炉心燃料温度分布、ボイド分布、及び圧縮性燃料の密度分布を示した。密度分布図に示す様に、上記時点は燃料分散直前の状態にある。本ケースは EXNRC ケースに比較し、出力上昇が抑制されるため起因過程は熱的に低いレベルにある。炉心ボイド率は EXNRC ケースより 5 % 増大し（75 %）、燃料熔融割合は約 10 % 低下し（52 %）、燃料の熱エネルギーは約 40 % 減少し 1290 MJ となる。2 相燃料の等エントロピー膨張による有効仕事量はほとんど 0 である。これはこの時点は全反応度が 0.98 \$ で未だ炉停止状態に移行していないためであるが、完全な炉停止状態まで計算しても BE ケースを越す有効仕事量が放出されるとは考えられない。後述する様に、完全な核的終息状態まで計算することができた BURST・FCI ケースの最大比出力、最大到達反応度、及び各種反応度挙動は RP ケースに極めて類似している。このため、RP ケースに対する最終炉心の熱的状态、及び有効仕事量の値は BURST・FCI ケースの結果（～30 MJ）と同程度であると推定される。^{*}

以分節以降に RP ケースを基準とした各種パラメータ解析の結果を記述する。ここでは燃料破損挙動に関し、保守的想定を行い、BOIC の起因過程が出力暴走による炉心崩壊過程へ移行する可能性を検討した。

注) * 燃料軸方向膨張による負反応度フィードバックを無視したにもかかわらず、RP ケースの最大比出力、あるいは炉心内部エネルギーが BE ケースより小さくなる原因は被覆管反応度の挙動にあると考えられる。即ち、BE ケースの被覆管熔融移動する集合体数は RP ケースの 2 倍あり、反応度投入量は約 4 倍程度大きい。これは起因過程末期に特に著しくなり BE ケースの炉出力を増大させる原因となっている。従って、RP ケースあるいは EXNRC ケースの最終炉心の熱的状态が BE ケースを越すことはないと考えられる。

(2) SDFRIC・SLPケースの解析

SDFRIC・SLPケース(C2112)は基準ケース(RPケース)で考慮した燃料スランピング時のナトリウム蒸気と燃料物質との friction 効果を見捨し、燃料移動を容易にする¹⁷⁾ことにより、即発臨界近傍での燃料移動による反応度効果を早めた場合について検討したものである。この friction 効果は燃料破損領域より上部にある intact segment の動力落下を抑制する作用を持つ。

事象シーケンスを Table 4.2.5 及び Fig. 4.2.56 に、原子炉出力及び全反応度の変化を Fig. 4.2.57 に示す。

SDFRIC・SLPケースの解析条件は燃料スランピングまでは RP ケースと同一であるため、事故後約 20.2 秒での第 4 チャンネルの燃料スランピングまでは RP ケースの結果と同じである。

しかし、fuel slumping が始まると Fig 4.2.52 に示すように燃料移動に伴う反応度効果の変化が早くなる。特に燃料反応度価値の高い第 10 チャンネル(炉心最内層)の正の反応度効果は RP ケースより大きく、また、他チャンネルの正の反応度効果も RP ケースよりも短時間に挿入される。このため、原子炉の全反応度は RP ケースより大きくなり、一時的に即発臨界をこえる (Table 4.2.1 及び Fig. 4.2.57 参照) ようになる。

この様に冷却材蒸気流と燃料の friction を見捨すると、炉心中央部の冷却材蒸気が上方向に流れているため燃料 (intact segment) の重力落下が促進され燃料反応度投入量、及び反応度挿入率は増大する。しかし、燃料落下に伴い炉出力が上昇(最大比出力 416P₀) すると、燃料温度が沸点以上となり(最大燃料温度約 4400 °K) 燃料蒸気圧が増大する。このため破損燃料領域は軸方向に分散し、更に intact segment の落下は抑制される。これ等の燃料移動により負反応度が投入され炉出力、及び全反応度が低下する。Fig. 5.1.59 に Ch. 4 の燃料密度変化を示したが、計算終了時刻(T = 20.28秒)には燃料分散直前の状態を示している。

本ケースも炉出力が低下し始めた直後冷却材計算の不都合のため計算を打ち切った。しかし、この時点以降の反応度挙動は BE ケースと同様、燃料蒸気圧による分散のため核的炉停止状態へ至ると考えられる。(4)BURST・FCIケースの解析結果参照)

Fig 4.2.60 に Ch. 14 に対する沸騰、及び FCI によるボイド領域の変化を示した。本ケースでは Fig 4.2.61 に示す様に外側炉心第 2 列を中心として Ch. 14~16 で FCI が発生する。ここでは RP ケースで燃料スランピングとなった第 14 チャンネルが FCI となっているが、これは、Fig 4.2.60 に RP ケースと本ケースの Ch. 14 のボイド領域変化を比較して示した様に燃料破損モードが冷却材沸騰領域の拡大パターンに微妙に依存するためである^{*}。但し、この場合も FCI が生ずるのが反応度効果の小さい炉心最外層であるため、FCI に伴うボイド

注*) 沸騰領域が燃料破損位置まで拡大する直前に FCI が発生した。

効果は負であり、更にBOICであるため fuel compactionの効果も小さく事象展開には何等影響しない。

Table 4.2.1からわかるようにSDFRIC・SLPケースは即発臨界以上での反応度挿入率は今回の解析ケースの中では最も大きく、又、即発臨界をこえる時間も最も長くなっている。このことから、もんじゅ初装荷炉心では燃料落下の同時性、及び落下量が出力暴走状態へ移行するか否かを決定する最も大きな要因であることがわかる。

しかしながらここでの解析は約3万本に及ぶ全炉心燃料を高々16グループに分割していること、また燃料破損機構の複雑さなどを考えると、実際の炉心では燃料破損の非同時性(incoherency)はもっと大きいと思われる。更に最大反応度挿入率が高々5\$ /sec程度であることから本ケースの起因過程が炉心崩壊過程へ移行する可能性はない。

Fig. 4.2.61～63に計算終了時刻($T = 20.85\text{sec}$, $\rho_{\text{net}} = 0.98\%$)に於ける燃料破損、燃料温度分布、及びボイド分布を示した。上記時点で炉心ボイド率は70%、燃料溶融割合は約65%(4434kg)、溶融燃料の内部エネルギーは2150MJを示す。上述した様にこの時刻は炉出力がピーク値をとった直後の状態に対応し、この後燃料分散による負反応度の投入によって起因過程は核的炉停止すると考えられる。本ケースの最大比出力から推定すると完全に炉停止した状態の炉心エネルギーはBEケースとほぼ同等になると考えられる。Fig 4.2.64に $T = 20.85\text{sec}$ に於ける2相燃料の等エントロピー膨張過程に対応するP-V曲線を示した。この時点に於ける1気圧までの膨張に対する有効仕事量は9.4MJとなるが炉停止状態に於ける有効仕事量はほぼ60MJ程度になると考えられる。

(3) NSS. FCI25. CNTケースの解析

炉心流量減少事故では、一般に、FCIによる急速な正反応度投入によりLOF→d-TOP状態が誘発され、起因過程が炉心崩壊過程へ移行すると考えられる。このため、FCIによる反応度挙動はLOF事象展開上最も注目すべき現象の1つである。

しかし、これまでに述べた解析結果からもんじゅ初装荷炉心では炉心中心付近で大規模なFCIが生じないために、LOFの起因事象段階では出力暴走とはならないことが示された。そこで、ここで実施したNSS. FCI25. CNT ケース(C2110)ではFCIを早期に起こすことを目的として、燃料ピンの軸方向中心で燃料溶融割合25%(RPケースでは50%)をFCI条件とし、更にfuel slumping時の燃料分散による負の反応度効果を遅らせるために燃料分散の駆動力としての構造材蒸気圧の効果を無視した。ここで燃料溶融割合25%はTREAT実験などでの燃料破損の下限に近い値である。

NSS. FCI25. CNT ケースの事象シーケンスをTable 4.2.6及びFig. 4.2.65に、原子炉出力と全反応度の変化をFig 4.2.66に示す。計算終了時点(事故後20.31秒)での炉心状態

について Fig. 4. 2. 69 に燃料集合毎の状況を, Fig. 4. 2. 70 に燃料温度分布を, Fig. 4. 2. 71 に冷却材ボイド分布を示す。

NSS. FCI 25. CNT ケースに対する fuel slumping が開始するまでの事象展開の RP ケースと全く同一である。

fuel slumping 開始以後に構造材蒸気圧を無視した効果は intact pellet の落下挙動に若干の影響を及ぼすが, 燃料破損 (fuel slumpig) 時刻が 0.5 msec 程度早くなるにすぎず, RP ケースとの間に有意な差異は見出されない。従って, 構造材蒸気圧の効果は極めて小さいと考えられる。

Table 4. 2. 6 に示すように被覆管が溶融, 移動している第 1, 第 2, 第 4, 第 5 及び第 10 チャンネル以外のチャンネルではピン破損条件 (表中の Fuel Failure) の方が燃料スランピング条件より早く満足される。しかし, ピン破損条件が満足されてもこの時点では既に大半のチャンネルで冷却材の沸騰領域が炉心中心より下方にまで拡大して, 残留ナトリウム量はわずかである。このために FCI は発生せず, 結局 FCI 事象となるのは RP ケースと同様に冷却材沸騰の最も遅く, かつまたボイド効果が負である炉心最外層の第 15, 第 16 チャンネルのみである。ここで, 最初に FCI が生じる第 16 チャンネルのピン破損は RP ケースよりも約 9 msec 程度しか早くない。このため, FCI による反応度効果は事象展開に殆んど影響を及ぼさず, 各チャンネルのボイド, 及び燃料反応度挙動は RP ケースとほとんど同一になる (Fig. 4. 2. 67 参照)

本ケースでも, RP ケースと同様, 冷却材計算の不都合により計算を打ち切った。しかし, 最大到達反応度 (0.990 \$), 最大比出力 (261 Po.) 共に RP ケースの結果に良く一致しており, 起因事故過程は高出力チャンネルの燃料分散によって終息すると考えられる。

上述した様に, 本ケースの結果から, 燃料ピン破損基準として燃料溶融割合を低下させてもこれは事象展開に影響しないことが結論される。この原因は FCI 開始を早くしても, 燃料破損を生ずる時刻にはすでにボイド化が進行し, 出力上昇を引き起こす有効な反応度挿入が生じないことにある。

この結果, NSS. FCI 25. CNT ケースは RP ケースと同様に即発臨界をこえるようなことはなく, 出力暴走に到る可能性は小さい (Table 4. 2. 1 参照)。しかし炉心燃料溶融進展が著しいため, 起因過程は遷移過程へ移行すると考えられ, 溶融炉心の挙動評価が必要である。計算終了時の炉心燃料溶融割合は約 55 % (3570 kg), 溶融燃料の内部エネルギーは約 1350 MJ であり, 又, 炉心ボイド率は約 75 % である。これ等の炉心状態は RP ケースの計算終了時点の結果にほとんど一致し, 2 相燃料の膨張による有効仕事量は, Fig. 4. 2. 72 に示す様にほとんど 0 となる。しかし, 完全に核的に炉停止した状態に於ける有効仕事量の値は, BURST・FCI ケースの結果から約 30 MJ 程度になると推定される。

(4) BURST・FCIケースの解析

これまでの解析では燃料破損条件として便宜上燃料ペレットの溶融割合を想定した。しかしながら燃料破損原因として被覆管の機械的な破損を想定した場合についても検討しておく必要があり、このため、ここでは燃料溶融キャビティ内圧によるピン破損を仮定した。

ここで実施したBURST・FCIケース（C2113）ではFCIを早期におこすことを目的として、温度依存型の低限界応力値（常陽に対する解析で使用。第3章参照）をピン破損基準応力として用いた。

BURST・FCIケースの事象シーケンスをTable 4.2.7とFig. 4.2.73に、原子炉出力及び全反応度の変化をFig. 4.2.74に示す。又、各成分反応度をFig. 4.2.75とFig. 4.2.76に示した。

本ケースでは溶融キャビティ内圧によるピン破損を想定したにもかかわらず、すべてのチャンネルでfuel slumpingが発生し、被覆管破損によるFCIは発生しなかった。FCIが発生しない理由はBOICでは燃料ペレット中にFPガスが存在しないため、溶融キャビティの圧力が十分に増大しないためである。仮に、より低い限界応力値を用いても、FCIが発生する領域は炉心最外列集合体に限定されると考えられ、FCIによる顕著な反応度効果は期待できない。従って本ケースの過渡時反応度効果、及び炉出力挙動にはRPケースとほとんど同一であり、燃料ピン破損条件はBOIC事象進展に大きな影響を与えないことが結論できる。

(1)～(3)に記述したケースでは原子炉出力が最大値を示した直後に計算を打ち切らざる得なかったが、しかし、本ケースでは完全に炉停止状態に移行するまでの反応度挙動を追跡することができた。以下に最大炉出力到達以降の反応度挙動を記述する。Fig. 4.2.77、78に冷却材反応度変化を、Fig. 4.2.79に燃料反応度変化を、Fig. 4.2.80に被覆管反応度変化を示した。

燃料溶融割合が50%に到達すると、すべての破損チャンネルでは燃料落下を生じ、このため最大50%程度の正反応度が投入される。このため炉出力は10倍以上増大し、低出力チャンネル（Ch. 11, 13, Ch. 14～16）の沸騰によるボイド化が急速に進展する。炉出力上昇に伴い、高出力チャンネル（Ch. 1, 2, 4, 5, 10, 12）と他のチャンネルとは全く異なる燃料挙動を示す。即ち、高出力チャンネルでは燃料温度の上昇（最大4500°K程度）に伴い燃料蒸気圧が発生し、軸方向燃料分散により大きな負反応度が投入されるが、低出力チャンネルでは燃料温度が沸点を越して上昇することがないため燃料の落下が持続、あるいは燃料の落下が反応度価値の高い炉心中央で停止するため、正反応度の投入が持続する。相対的な投入反応度量は前者の効果が圧制的に大きいため、全燃料反応度投入量は－4%程度となり、出力レベルはほぼ定格まで降下し、起因過程は完全な核的炉停止状態へ移行する。

以上の経過はRPケース(1)、FCI25ケース(3)に対してもほぼ同一の結果を与えると推定される。

Fig. 4.2.81～83に起因過程終息時（ $T = 20.47 \text{ sec}$, $\rho_{\text{net}} = -3.5 \%$ ）に於ける集合

体破損状態、炉心燃料温度分布、及びボイド分布を示した。この時点では炉心ボイド率が75%、燃料熔融割合60%、熔融燃料の内部エネルギーは約1600 MJとなっている。本ケースに対する2相燃料膨張時のP-V曲線をFig 4.2.84に示したが有効仕事量（1気圧までの等エントロピー膨張）は約30 MJである。これ等の最終炉心に対する諸物理量はRPケース及びFCI 25ケースに対しても成立するものと考えられる。

(5) GAPCON ケースの解析

これまでの解析では燃料ペレット-被覆管の間のギャップ熱伝達をSAS 3Dコードに組み込まれたRoss & Stout型のモデルで評価した。しかしながら、このギャップ熱伝達は同一燃料ピン内においても、大幅に変わり不確かさの大きいものである。

一般に、流量が急激に減少するような事象では初期に燃料の保有するエネルギーが大きいほど、即ち、ギャップコンダクタンスの小さいほど冷却材の沸騰を早める。そこで、ここではギャップコンダクタンスのパラメータサーベイとして初期のギャップコンダクタンスを一律にホットチャンネルの設計最小値である714 Btu/hr ft² °Fとしたケース、GAPCON(C2109)ケースについて検討した。

GAPCONケースの事象シーケンスをTable 4.2.8及びFig. 4.2.85に、原子炉出力及び全反応度の変化をFig. 4.2.86に示す。計算終了時点（事故後19.25秒）での炉心状態について、Fig. 4.2.88に燃料集合体毎の状況を、Fig. 4.2.89に燃料温度分布を、Fig. 4.2.90に冷却材ボイド分布を示す。

ギャップコンダクタンスを一律に714 Btu/hr ft² °Fとした場合、初装荷炉心の定常時には燃料最高温度はTable 4.2.9に示すように基準ケースの場合（Table 4.1.6）より50~90℃程度上昇し、全チャンネルに対し、本ケースのギャップコンダクタンスの方が小さい。このため初期に燃料の保有するエネルギー（initial stored energy）が増大し、冷却材沸騰はRPケースより約0.7秒早まり、事故後約14.6秒で開始（第2チャンネル）する。その後、全てのチャンネルで冷却材沸騰がおこるが、沸騰の順序はRPケースとは変わらない。

冷却材沸騰後、約2.9秒で被覆管の熔融が開始（第2チャンネル）されるが、この遅れはRPケース（約3.2秒後）より約0.3秒早まっている。

また、冷却材沸騰による全反応度の上昇が早まるために、出力上昇も早まり、燃料スランピング（第4チャンネル）及びFCI（第16チャンネル）の開始もそれぞれ約1.1秒程度RPケースより早まる。このためCh. 14及びCh. 15でもFCIが発生する。しかし、各チャンネルに対する燃料破損順序はRPケースと同じである。これはTable 4.1.7に示すようにRPケースの場合も全てのチャンネルの最小ギャップコンダクタンス（炉心軸方向中心面附近）が

約 $850 \text{ Btu/hr ft}^2 \text{ } ^\circ\text{F}$ 前後であり、ほぼ一律に近いことから各チャンネルの燃料温度の順序が同一であるためと考えられる。

従って、ギャップコンダクタンスを変えた場合にも事象の進展は大幅で RP ケースと同様であり、全反応度が約 88% 前後で燃料スランピングがおり、一時的に全反応度が增大するが即発臨界には到達せず（最大約 99.2% ）、結局ドブラー効果及び高出力チャンネルの fuel dispersal などにより未臨界となる。最大到達反応度、及び最大比出力共に RP ケースの結果と良く一致している。

Fig. 4.2.87 に Ch. 16 に対する FCI 領域の拡大進展の様子と各チャンネルに対する燃料反応度を示した。事象展開が RP ケースより多少早くなったにもかかわらず各チャンネルの燃料反応度挙動には顕著な差異は見出されない。又、FCI を生ずる集合体が増加したにもかかわらずピン破損を生ずる集合体が炉心最外列に限定されているため全反応度挙動、あるいは LOF 事象展開への影響は全くない。この結果、最大到達反応度（ 0.992% ）、及び最大比出力（ $250 P_0$ ）共に RP ケースとほとんど同一の結果を与える。

RP ケースとの最も大きな差異は最終炉心の熱エネルギーが RP ケースより約 30% 程度大きい（燃料溶融割合約 70% 、炉心平均温度 $3260 \text{ } ^\circ\text{K}$ ）ことである。これは、一定のギャップコンダクタンスを仮定したため軸方向の温度分布（エネルギー保有量分布）が平坦化し、かつ、初期定常時の燃料温度が $50\sim 90 \text{ } ^\circ\text{C}$ 高い状態が起因過程末期まで残留したためである。しかし、燃料温度ピーキングが小さい（本ケースでは 1.38 、RP ケースでは 1.41 ）ため、沸点以上にある燃料状態は RP ケースとほとんど同一となり、燃料蒸気の 1 気圧までの膨張に対する有効仕事量は 26 MJ と RP ケースの結果とほぼ一致する。（Fig. 4.2.91 参照）

これらの結果をまとめるとギャップコンダクタンスの多少のバラツキを考慮した場合にも初装荷炉心の過渡挙動は冷却材沸騰及び燃料スランピングの挙動に支配され、出力暴走を引き起こすようなことはなく、いわゆる transition phase へと移行する可能性が大きいと考えられる。

(6) パラメータ解析の結論

もんじゅ初装荷炉心の LOF 事象では冷却材沸騰によるボイド反応度効果のみでは出力暴走とはならず、その後の破損燃料の挙動に支配される。本報告でのパラメータ解析では溶融燃料移動による反応度効果を過大評価した場合に炉心崩壊過程に移行するか否かの知見を得ることを中心に検討を行なった。

この結果、初装荷炉心ではいずれの場合でも起因事象において出力暴走を引き起すような急激な正の反応度挿入がないことが明らかになった。即ち、これらの主因となる FCI はボイド効果が負の領域である炉心外層附近でしか起こらず、また、燃料スランピング及び被覆管移動

に伴う正の反応度効果は緩やかであり、数十 β /sec 以上の反応度挿入を与える要因とはならない。

4.2.4 結 論 (LOF)

4.2.4 結 論

電源喪失などのLOF事象が発生すると、流量減少に伴い除熱能力が減少するために冷却材温度が上昇する。この間、原子炉には正、又は負の大きな反応度効果が挿入される要因がないため、原子炉出力は初期の出力レベル（定格出力）附近の状態が維持され、燃料温度はあまり変化しない。原子炉トリップ動作がなされない場合、出力と流量のミスマッチにより冷却材の沸騰現象がおこることになる。

Fig. 4.2.92 に初装荷炉心LOF事象の基本的な3ケース（BEケース、EXNRCケース及びRPケース）の起回事象末期での燃料破損状況を比較したものを記載した。この図からもわかるように、初装荷炉心では事故後20秒程度で炉心全域が沸騰してしまう。

この中でBEケースは実際の事故挙動で考えられる炉心燃料の密度変化及び形状変化に起因する負反応度効果を考慮したケースであり、出力上昇をおさえることにより事象の進展を遅らせることを期待した。しかし、LOF事象では事象初期での出力変動が小さいために上記効果を見逃した場合に比較して冷却材沸騰の開始が約1秒、起回事象の終了は約2秒程度しか遅れない。

すなわち、初装荷炉心のLOF事象において原子炉トリップ動作がなされなければ、事象の発生後十数秒程度で冷却材が沸騰してしまい、その後数秒以内にFig. 4.2.92に示した様な炉心全域にわたる燃料破損が生じることは避けることができないと言える。

炉心内部に冷却材沸騰領域が広がると正の冷却材ボイド反応度が挿入されるが、初装荷炉心では負のドップラー効果などにより原子炉反応度の増大はおさえられるために冷却材沸騰のみにより原子炉が即発臨界をこえることはない。

もし即発臨界をこえる場合があるとすれば、それは冷却材沸騰後に発生する燃料破損のために何らかの急激な正の反応度挿入が生じるような場合である。特に、LOF事象では燃料スランピングなどの溶融燃料の移動がその後の事象を支配する要因となる。

LOF事象において燃料破損が起る可能性が強くなるのは原子炉反応度が数十 β をこえ、原子炉出力が定格時の数倍以上となる時点である。いったん原子炉がこのような状態になると短時間のうちに次々に被覆管や燃料の移動などによる正の反応度が挿入され、原子炉出力は指数関数的に増大し始め、定格時の数百倍以上に達する場合もある。

ここで解析した例では最初に燃料破損条件が満たされてからわずか100msec以内の短時間に炉心全域で燃料破損条件が満たされる。このため、大量の燃料が同時に移動する可能性があり、その移動モードによっては大きな正の反応度が挿入されて即発臨界をこえるような場合もあり得る。実際、今回実施したパラメータ解析でも3つのケースが即発臨界をこえている。

一般に炉心流量減少事故ではFCIによる反応度効果が起因過程後の事象展開に最も重大な影響を与えると考えられる（第5.2章参照）。ところがボイド係数として核計算ノミナル値を想定する限り、初装荷炉心の出力上昇は比較的緩慢であり燃料破損が生ずる時点には炉心の70～90%がボイド化し、これはFCIのポテンシャルを低下させる。

Fig. 4.2.92 に示した様に初装荷炉心で FCI が発生するのは冷却材沸騰が遅い炉心外層附近の負のボイド反応度値を持つ領域である。このため初装荷炉心では大きな反応度増大をもたらす要因は被覆管移動に伴う反応度効果と、燃料スランピング過程初期に生ずる燃料落下による正反応度効果である。

原子炉が原子炉容器の耐衝撃評価を必要とするような激しい炉心崩壊、すなわち出力暴走を引き起こすためには即発臨界をこえた以後にも大きな正の反応度が少くとも数 msec 以上にわたって挿入される必要がある^{4, 28)}。ところが、初装荷炉心では FCI による反応度効果は極めて軽微であり事象展開に何等影響しない。また、被覆管の移動は FCI 事象よりはるかに緩慢であり、急激な反応度増大の主因とはならない。更に燃料スランピング開始直後に燃料落下などにより一時的に挿入される正の反応度効果は小さく、すぐにドップラー効果と共に起因事象を終了させる主要因となる大きな負の反応度が投入される。これは燃料スランピング挙動はきわめて複雑な現象であるが、少くとも起因事象末期では炉心燃料は最も高い燃料反応度値を持つ炉心中心面上から燃料蒸気圧を駆動力として分散される傾向にあるためである。

以上の理由により初装荷炉心の LOF 事象では起因事象段階においては出力暴走に到るようなことはないと考えられる。しかしながら、起因事象末期においては炉心燃料の大半が溶融し、また炉内に残留したままである。このため、燃料分散及びドップラー効果などにより一担未臨界となった原子炉反応度もその後の溶融燃料の挙動モードによっては再臨界に到るようなことも考えられる。

このような状態は Transition Phase と呼ばれ、きわめて複雑な現象であるが、現状ではこれらの現象を定量的に評価する有効な手段は少ない。米国においては SIMMER-II などのコードが開発 (LASL) されているが現状ではまだその適用範囲は限られている^{44, 48)}。

このように起因事象が Transition Phase のような緩やかな炉心崩壊へ移行するような場合、様々な問題が残される。例えば、仮想事故をより保守側に評価しようとした場合、起因事象解析で最も事象の進展を促進する EXNRC パラメータは必ずしも保守側のパラメータとは言えない。つまり、出力暴走フェイズ (VENUS フェイズ) では一般に、初期の燃料温度が低いほど有効仕事量が増大すると言われているが¹⁾、Transition Phase の初期条件としては燃料の保有するエネルギー量が小さいことが事象展開にどのような影響を持つのか明らかではない。

また、最終的には炉内に大量に残留する溶融燃料の除熱能力の評価 (PAHR) も必要となる^{3, 8)}。

Table 4.2 - 1 ~ 4.2 - 9

Table 4.2-1 Initiating Phase Summary Table for BOIC LOF

		Accident Category: LOF				Reactor Core State: BOIC		
Case ID # Input Condition & Result		LF,BE. C2100	LF,EXNRC. C2108	LF,RP. C2107	LF.SDFRIC.SLP. C2112	LF.NSS.FCI25. CNT. C2110	LF.BURST.FCI. C2113	LF.GAPCON. C2109
Fuel Slumping Model (Slumping Criteria)		fuel melt fraction 50% or fuel surface melt	fuel melt fraction 50%	fuel melt fraction 50% or fuel surface melt	same as RP.C2107	same as RP,C2107	same as RP.C2107	same as RP.C2107
FCI Model	Clad Rupture Criteria	fuel melt fraction 50%	fuel melt fraction 50%	fuel melt fraction 50%	same as RP.C2107	fuel melt fraction 25%	Burst Failure (JOYO model)	same as RP.C2107
	Rip Length (cm)	15.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0
	Rip Area (cm ²)	carity area	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10
	Particle Radius (μ m)	117.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
	Mixing Time (ms)	10.0	0.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0
Fuel Dispersal due to	FP gas	Yes***	No	No	No	No	No	No
	SS vapor	Yes	Yes	Yes	Yes	No	Yes	Yes
Others Conditions		——	——	——	Sodium friction 0.0	FCI at core mid- plane	——	gap conductance 714Btu/hr ft ² °F
Reactivity Coeffs.	Doppler Na Void	nominal values	nominal values	nominal values	same as RP.C2107	same as RP.C2107	same as RP.C2107	same as RP.C2107
	Axial Core Expansion	100 %	neglect	neglect	same as RP.C2107	same as RP.C2107	same as RP.C2107	same as RP.C2107
1st Boiling Time(sec)/(Ch #) & additional Ch #		16.235(2) 1 ~ 16	15.337(2) 1~14, 16	15.337(2) 1 ~ 16	15.337(2) 1 ~ 16	15.337(2) 1 ~ 16	15.337(2) 1 ~ 16	14.647(2) 1 ~ 16
1st Clad Relocation(sec)/ (Ch #) & additional Ch #		20.645(4) 1~2,4~5,8~10,12	19.065(4) 1~2,4~5,10	19.660(2) 1~2,4,10	19.660(2) 1~2,4~5,10	19.660(2) 1~2,4~5,10	19.660(2) 1~2,4~5,10	18.684(4) 1~2,4~5,10
1st Fuel Slumping(sec)/(Ch #) & additional Ch #		21.998(4) 1~14,16	19.652(4) 1 ~ 13	20.205(4) 1 ~ 14	20.205(4) 1~13,16	20.205(4) 1 ~ 14	20.205(4) 1~14,16	19.156(4) 1~13,16
1st FCI Time(sec)/(Ch #) & additional Ch #		22.088(15) ——	19.696(16) 14, 16	20.299(16) ——	20.271(16) 14 ~ 16	20.291(16) 15 ~ 16	——	19.219(16) 14 ~ 16
Up to 1st FCI:	Coolant Reactivity(\$)	0.974	1.242	1.219	1.224	1.218	——	1.229
	Net Reactivity(\$)	0.978	0.992	0.990	0.994	0.973	——	0.991
	Relative Power(P/P ₀)	557.5	388.2	223.4	411.0	104.2	——	184.7
Max. Net Reactivity(\$) & Time (sec)		1.007 22.085	1.004 19.693	0.991 20.300	1.007 20.266	0.990 20.297	0.988 20.294	0.992 19.220
Max. Relative Power (P/P ₀)		566.5	391.1	238.9	415.9	261.1	233.3	250.6
Core Average Void Fraction(%)		88.0	68.9	74.5	70.8	74.7	74.9	73.0
Molten Fuel Mass (kg) & Core Melt Fraction (%)		5002 75.0	4320 64.8	3489 52.3	4434 66.5	3570 53.5	3930 58.9	4749 71.2
Molten Fuel Average Temp.(K) & Energy above Fuel Solidus (MJ)		3560 2880	3350 2030	3150 1290	3380 2150	3170 1350	3220 1590	3460 2490
Reactivity Component for Initiating Phase Shutdown		Fuel dispersal and Doppler	Fuel dispersal and Doppler	Fuel dispersal and Doppler	Fuel dispersal and Doppler	Fuel dispersal and Doppler	Fuel dispersal and Doppler	Fuel dispersal and Doppler
Average Net Reactivity Ramp Rate during Superprompt Critical Excursion(\$/sec)		4.8	2.0	——	5.2	——	——	——
Duration of Superprompt Critical State (ms)		2.5	4.4	——	5.7	——	——	——
Fuel Vapor Work to 1 atm Expansion (MJ)		56.5	(~60)**	(~30)	(~60)	(~30)	27.6	25.6

(Note) * Values are at initiating phase shutdown in non-energetic CDA case,

** Not obtained for I/P shutdown stage, but estimated to be the value similar to that of BE(~60 MJ) or BURST,FCI(~30 MJ) cases.

*** Not effective for BOIC.

Table 4.2-2 Event Sequence for BOIC LOF (LF,BE,C2100)**SAS3D Analysis Event Sequence Table****Case ID : LF(BIC)-BE(C2100)**

Event Inspection Time since Start of Accident (sec)											
Channel #	Coolant Boiling	#	Clad Melting	#	Clad Relocation	#	Fuel Failure	Fuel Slumping	#	FCI	#
1	17.0390	4	20.385	4	21.324	4		22.0663	5		
2	16.2346	1	19.350	2	20.655	2		22.0150	2		
3	18.9750	8	21.471	9	22.056	9		22.0765	11		
4	16.3298	2	19.340	1	20.645	1		21.9988	1		
5	16.9995	3	19.970	3	21.042	3		22.0625	4		
6	20.7700	12	22.082	13				22.0829	15		
7	20.2100	10	21.741	10				22.0758	10		
8	18.8351	7	21.156	7	21.784	8		22.0713	8		
9	18.7600	6	21.098	6	21.721	6		22.0688	7		
10	18.1400	5	20.720	5	21.399	5		22.0238	3		
11	21.0302	13	22.081	12				22.0810	13		
12	19.3150	9	21.234	8	21.766	7		22.0675	6		
13	20.6296	11	21.759	11				22.0749	9		
14	21.2294	14						22.0824	14		
15	21.7703	16					22.0879			22.0879	1
16	21.4463	15						22.0802	12		

Table 4.2-3 Event Sequence for BOIC LOF (LF.EXNRC.C2108)**SAS3D Analysis Event Sequence Table****Case ID : LF(BIC)-EXNRC(C2108)**

Event Inception Time since Start of Accident (sec)											
Channel #	Coolant Boiling	#	Clad Melting	#	Clad Relocation	#	Fuel Failure	Fuel Slumping	#	FCI	#
1	15.9795	4	18.900	5	19.582	5		19.6833	7		
2	15.3368	1	18.010	2	19.160	2		19.6567	2		
3	17.7344	8	19.604	9				19.6925	10		
4	15.4156	2	17.990	1	19.065	1		19.6517	1		
5	15.9174	3	18.590	3	19.394	3		19.6705	4		
6	19.1548	12						19.6983	12		
7	18.1400	10	19.662	10				19.6925	10		
8	17.6709	7	19.459	8				19.6845	8		
9	17.4550	6	19.354	6				19.6783	6		
10	16.3278	5	18.795	4	19.474	4		19.6580	3		
11	19.3023	13						19.6989	13		
12	17.9748	9	19.457	7				19.6754	5		
13	19.1000	11						19.6916	9		
14	19.4278	14					19.6971			19.6971	2
15											
16	19.5992	15					19.6959			19.6959	1

Table 4.2-4 Event Sequence for BOIC LOF (LF.RP.C2107)**SAS3D Analysis Event Sequence Table****Case ID : IF(BIC)-RP(C2107)**

Event Inception Time since Start of Accident (sec)											
Channel #	Coolant Boiling	#	Clad Melting	#	Clad Relocation	#	Fuel Failure	Fuel Slumping	#	FCI	#
1	15.9700	4	19.325	5	20.082	5		20.2737	7		
2	15.3368	1	18.510	1	19.660	1		20.2362	3		
3	17.9400	8	20.178	9				20.2944	11		
4	15.4156	2	18.680	2	19.755	2		20.2050	1		
5	15.9252	3	19.150	3	20.027	3		20.2437	4		
6	19.5846	12						20.3040	14		
7	18.5738	10	20.260	10				20.2931	10		
8	17.6550	7	20.026	7				20.2787	8		
9	17.4150	6	19.945	6				20.2612	6		
10	16.3526	5	19.165	4	20.042	4		20.2162	2		
11	19.8250	13						20.3011	12		
12	18.2395	9	20.045	8				20.2555	5		
13	19.3750	11	20.293	11				20.2910	9		
14	20.0133	14					20.3028	20.3030	13		
15	20.2809	16									
16	20.1319	15					20.2999			20.2999	1

Table 4.2-5 Event Sequence for BOIC LOF (LF.SUFRIC.SLP.C2112)**SAS3D Analysis Event Sequence Table****Case ID : LF(BIC)-SDFRIC.SLP(C2112)**

Event Inception Time since Start of Accident (sec)											
Channel #	Coolant Boiling	#	Clad Melting	#	Clad Relocation	#	Fuel Failure	Fuel Slumping	#	FCI	#
1	15.9700	4	19.325	5	20.082	5		20.2601	7		
2	15.3368	1	18.510	1	19.660	1		20.2350	3		
3	17.9400	8	20.178	9				20.2683	11		
4	15.4156	2	18.680	2	19.755	2		20.2650	1		
5	15.9252	3	19.145	3	20.027	3		20.2412	4		
6	19.5846	12						20.2735	13		
7	18.5738	10	20.257	10				20.2675	10		
8	17.6550	7	20.020	7				20.2620	8		
9	17.4150	6	19.945	6				20.2543	6		
10	16.3526	5	19.165	4	20.042	4		20.2162	2		
11	19.8250	13						20.2717	12		
12	18.2395	9	20.043	8				20.2500	5		
13	19.3750	11						20.2667	9		
14	20.0133	14					20.2726			20.2726	2
15	20.2667	16					20.2812			20.2812	3
16	20.1319	15					20.2710			20.2710	1

Table 4.2-6 Event Sequence for BOIC LOF (LF,NSS.FCI25.CNT.C2110)**SAS3D Analysis Event Sequence Table****Case ID : LF(BIC)-NSS.FCI25.CNT(C2110)**

Event Inception Time since Start of Accident (sec)											
Channel #	Coolant Boiling	#	Clad Melting	#	Clad Relocation	\$	Fuel Failure	Fuel Slumping	#	FCI	#
1	15.9700	4	19.325	5	20.085	5		20.2726	7		
2	15.3368	1	18.510	1	19.660	1		20.2348	3		
3	17.9400	8	20.178	9			20.2786	20.2938	11		
4	15.4156	2	18.680	2	19.755	2		20.2045	1		
5	15.9252	3	19.145	3	20.027	3		20.2436	4		
6	19.5846	12					20.2093	20.3032	13		
7	18.5738	10	20.259	10			20.2726	20.2928	10		
8	17.6550	7	20.020	7			20.2213	20.2773	8		
9	17.4150	6	19.945	6			20.2010	20.2610	6		
10	16.3526	5	19.170	4	20.042	4		20.2158	2		
11	19.8250	13					20.2928	20.3010	12		
12	18.2395	9	20.045	8			20.1975	20.2548	5		
13	19.3750	11	20.293	11			20.2610	20.2908	9		
14	20.0133	14					20.2963	20.3032	13		
15	20.2785	16					20.3066			20.3066	2
16	20.1319	15					20.2908			20.2908	1

Table 4.2-7 Event Sequence for BOIC LOF (LF.BURST.FCI.C2113)**SAS3D Analysis Event Sequence Table****Case ID : LF(BIC)-BURST,FCI(C2113)**

Channel #	Event Inception Time since Start of Accident (sec)										
	Coolant Boiling	#	Clad Melting	#	Clad Relocation	#	Fuel Failure	fuel Slumping	#	FCI	#
1	15.9700	4	19.325	5	20.083	5		20.2738	7		
2	15.3368	1	18.510	1	19.660	1		20.2363	3		
3	17.9400	8	20.178	9				20.2950	11		
4	15.4156	2	18.680	2	19.755	2		20.2050	1		
5	15.9252	3	19.145	3	20.028	3		20.2438	4		
6	19.5846	12						20.3041	14		
7	18.5738	10	20.259	10				20.2938	10		
8	17.6550	7	20.026	7				20.2788	8		
9	17.4150	6	19.945	6				20.2613	6		
10	16.3526	5	19.175	4	20.043	4		20.2163	2		
11	19.8250	13						20.3010	12		
12	18.2395	9	20.047	8				20.2550	5		
13	19.3750	11	20.293	11				20.2913	9		
14	20.0133	14						20.3033	13		
15	20.2800	16									
16	20.1319	15						20.3092	15		

Table 4.2-8 Event Sequence for BOIC LOF (LF.GAPCON.C2109)**SAS3D Analysis Event Sequence Table****Case ID : LF(BIC)-GAPCON(C2109)**

Event Inception Time since Start of Accident (sec)											
Channel #	Coolant Boiling	#	Clad Melting	#	Clad Relocation	#	Fuel Failure	Fuel Slumping	#	FCI	#
1	15.2116	4	18.269	5	19.141	5		19.1921	7		
2	14.6470	1	17.569	1	18.739	2		19.1674	3		
3	16.9300	8	19.214	10				19.2129	11		
4	14.7152	2	17.629	2	18.684	1		19.1561	1		
5	15.1659	3	18.079	4	18.999	3		19.1749	4		
6	18.5186	12						19.2238	13		
7	17.4736	10	19.200	9				19.2105	10		
8	16.6800	7	18.874	7				19.1945	8		
9	16.4100	6	18.764	6				19.1846	6		
10	15.4150	5	18.739	5	19.044	4		19.1586	2		
11	18.7072	13						19.2208	12		
12	17.2150	9	18.034	3				19.1811	5		
13	18.4036	11						19.2082	9		
14	18.8854	14					19.2223			19.2223	2
15	19.2343	16					19.2344			19.2344	3
16	19.0907	15					19.2191			19.2191	1

**Table 4.2-9 Steady State Maximum Fuel
Temperature by Channel
for BOIC GAPCON Case**

Channel No.	Fuel Maximum Temperature (°C)
1	1770
2	1832
3	1691
4	1865
5	1828
6	1569
7	1733
8	1803
9	1845
10	1889
11	1631
12	1881
13	1772
14	1597
15	1445
16	1654

Figure 4.2 - 1~4.2 - 92

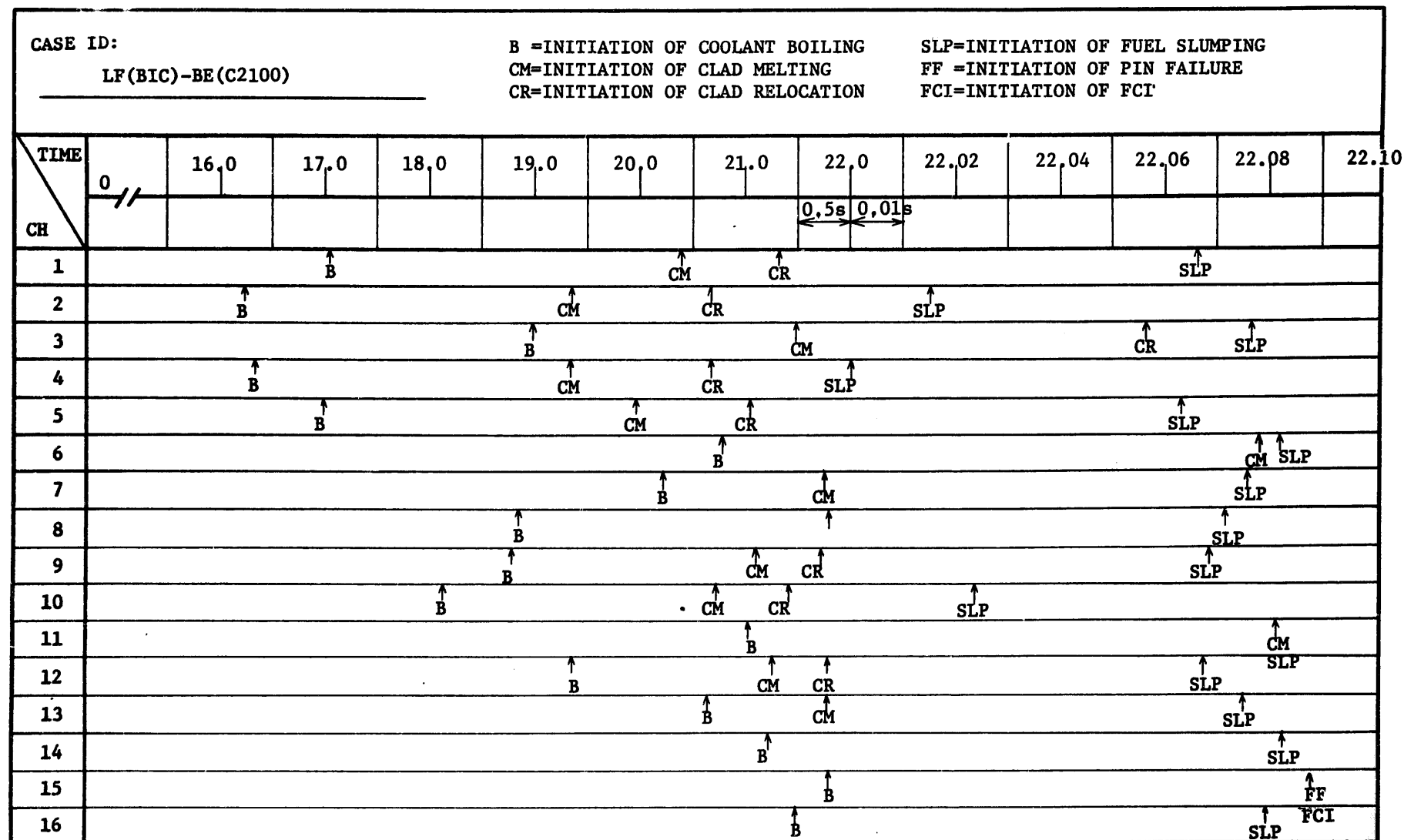


Fig. 4.2-1 Timing of events for BOIC LOF (LF.BE.C2100)

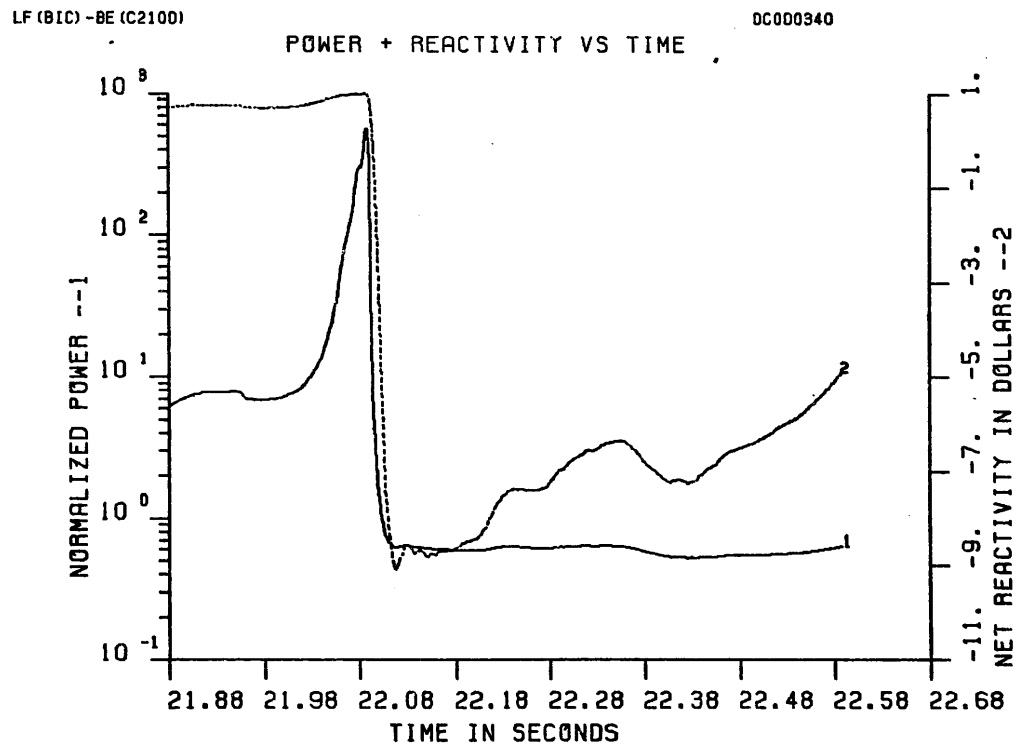
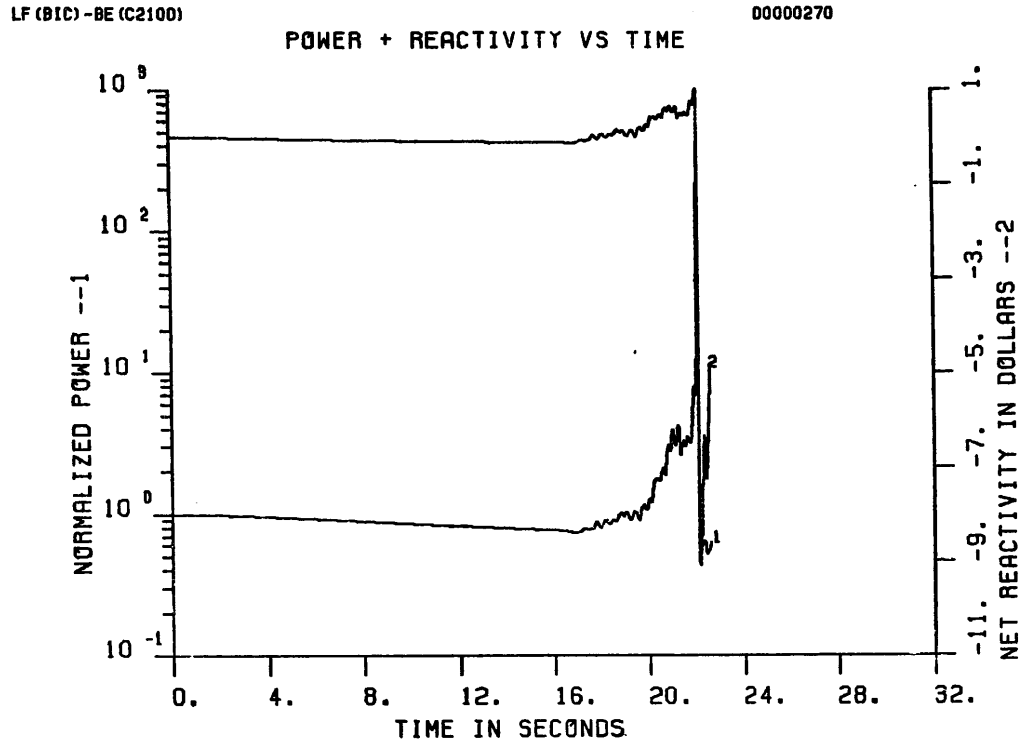


Fig. 4.2-2 Power and net reactivity profiles for BOIC LOF
Case ID : LF,BE.C2100

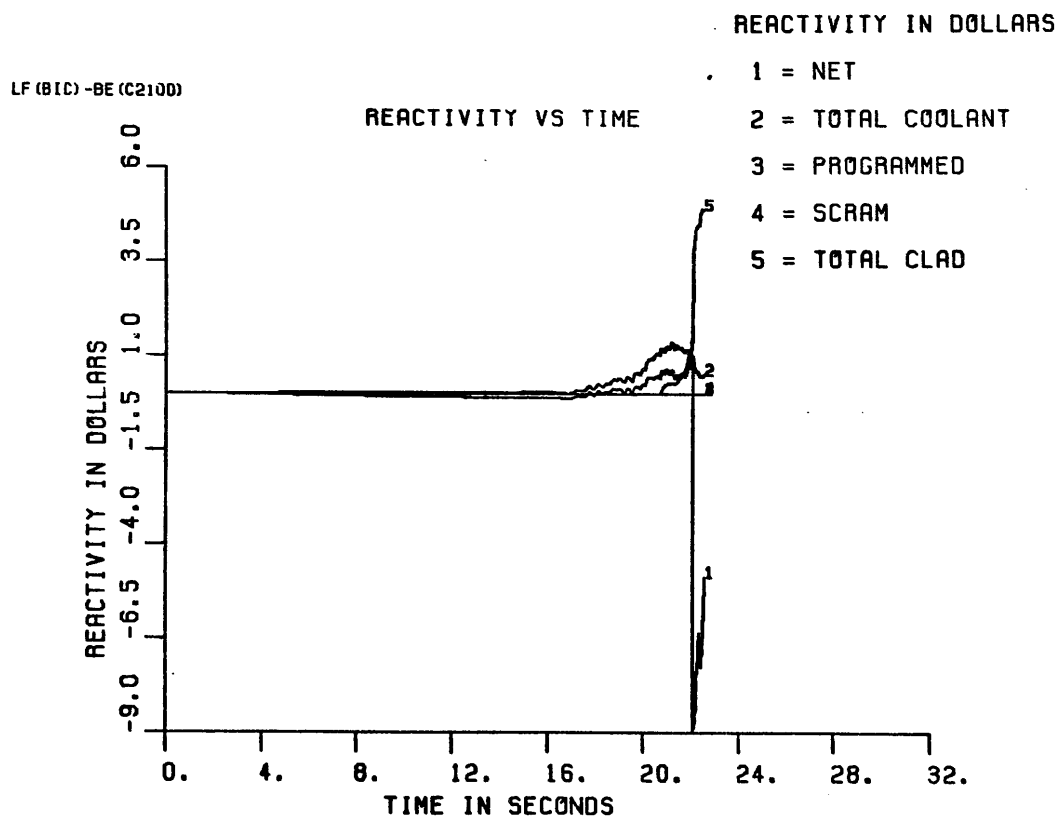
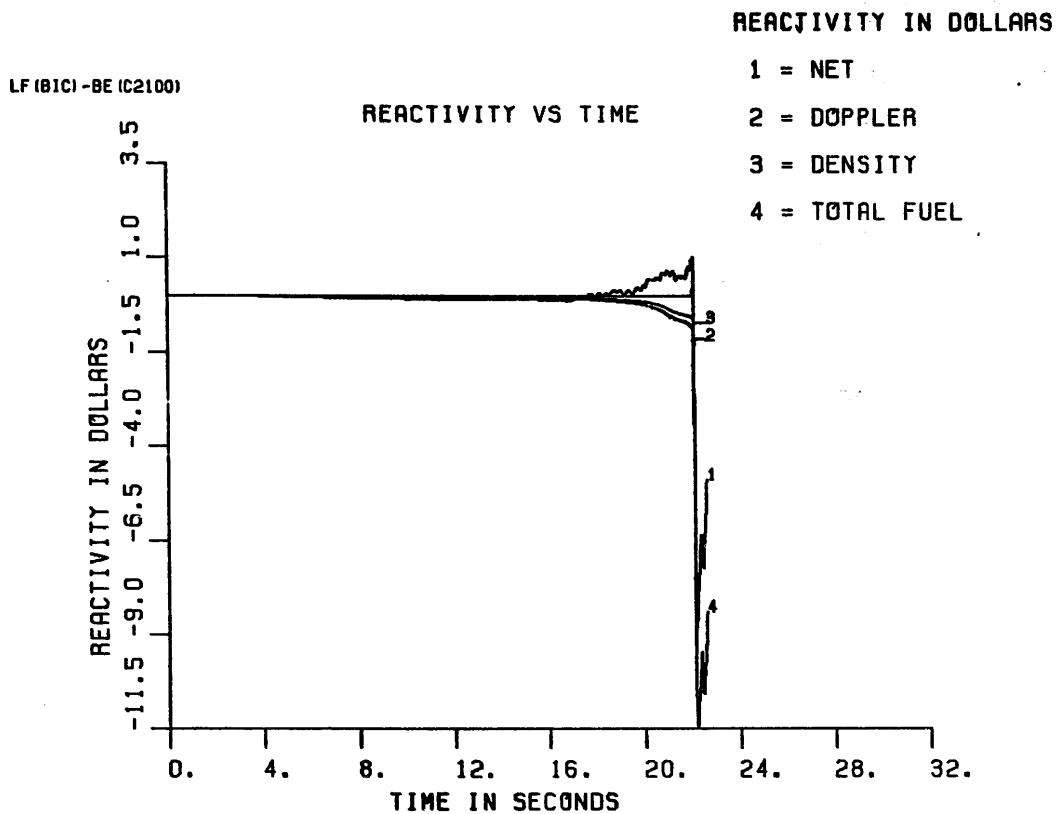


Fig. 4.2-3 Component reactivity traces for BOIC LOF
Case ID : LF.BE.C2100

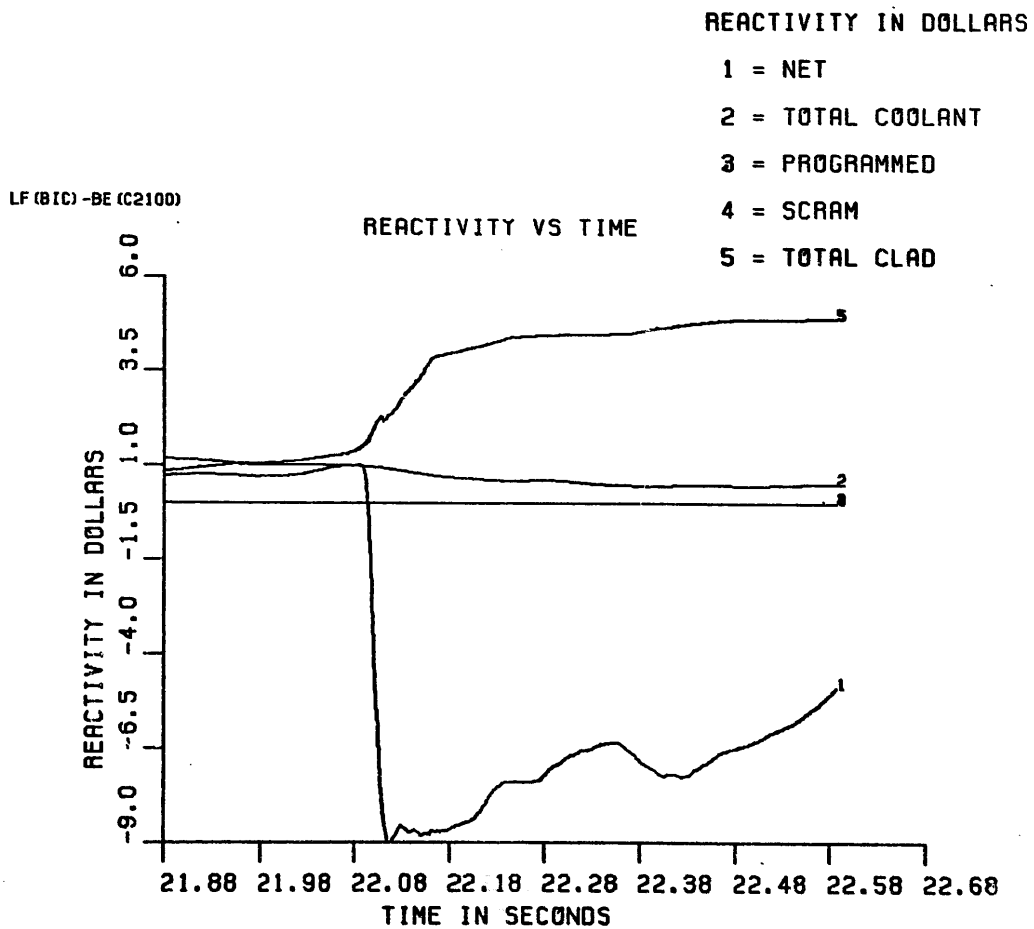
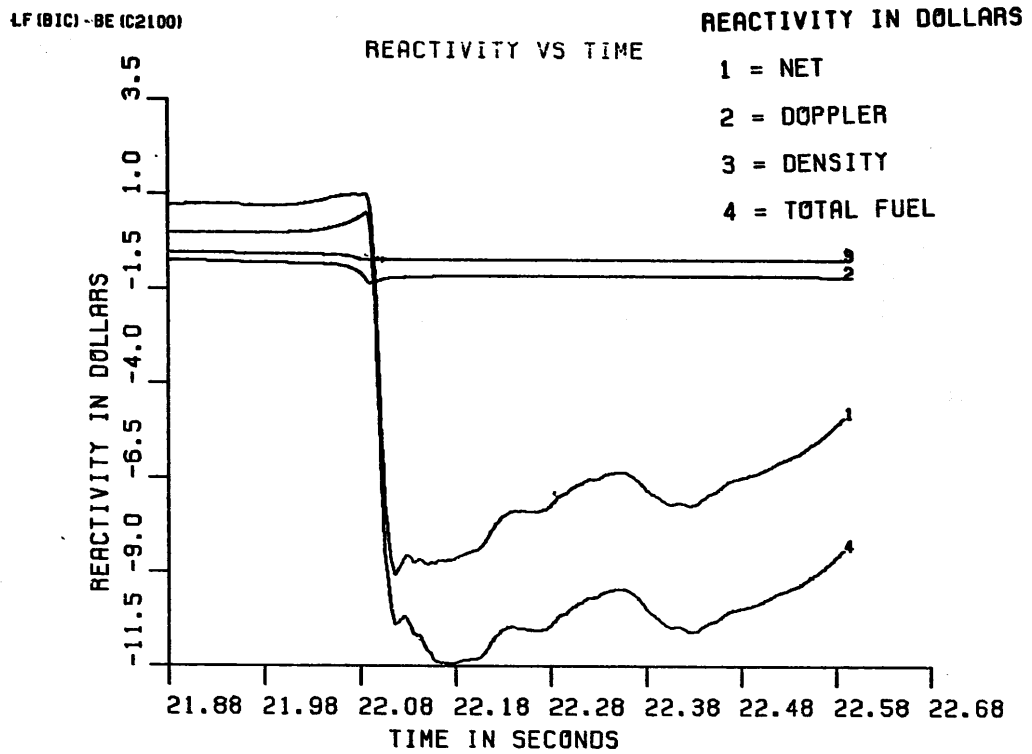


Fig. 4.2-4 Component reactivity traces for BOIC LOF
Case ID : LF.BE.C2100

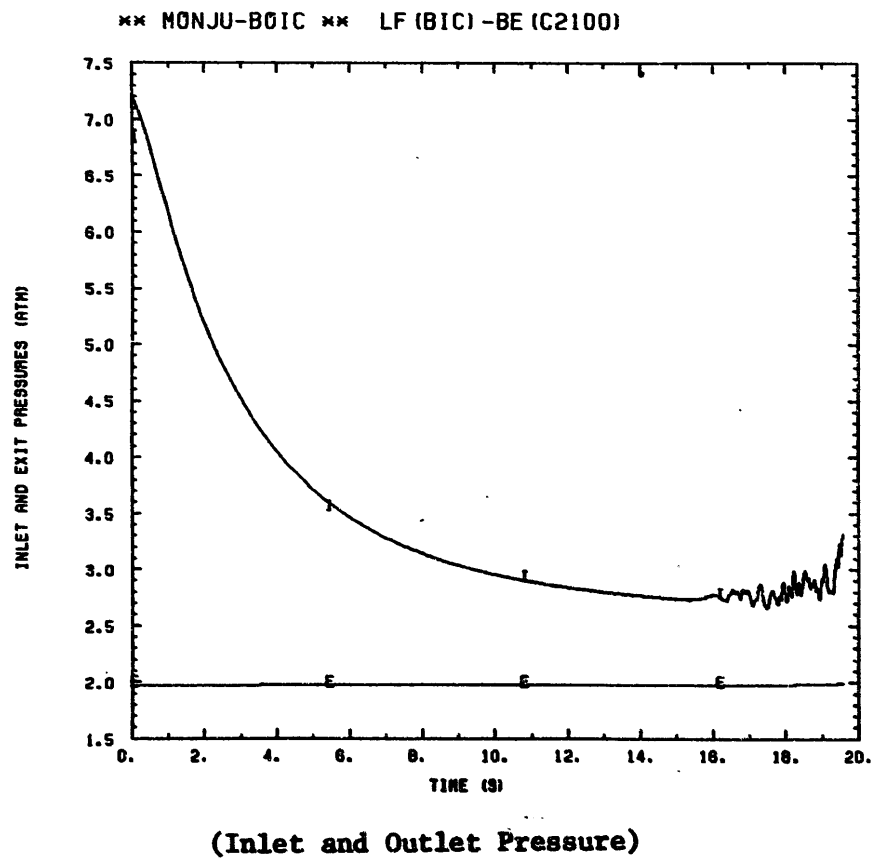
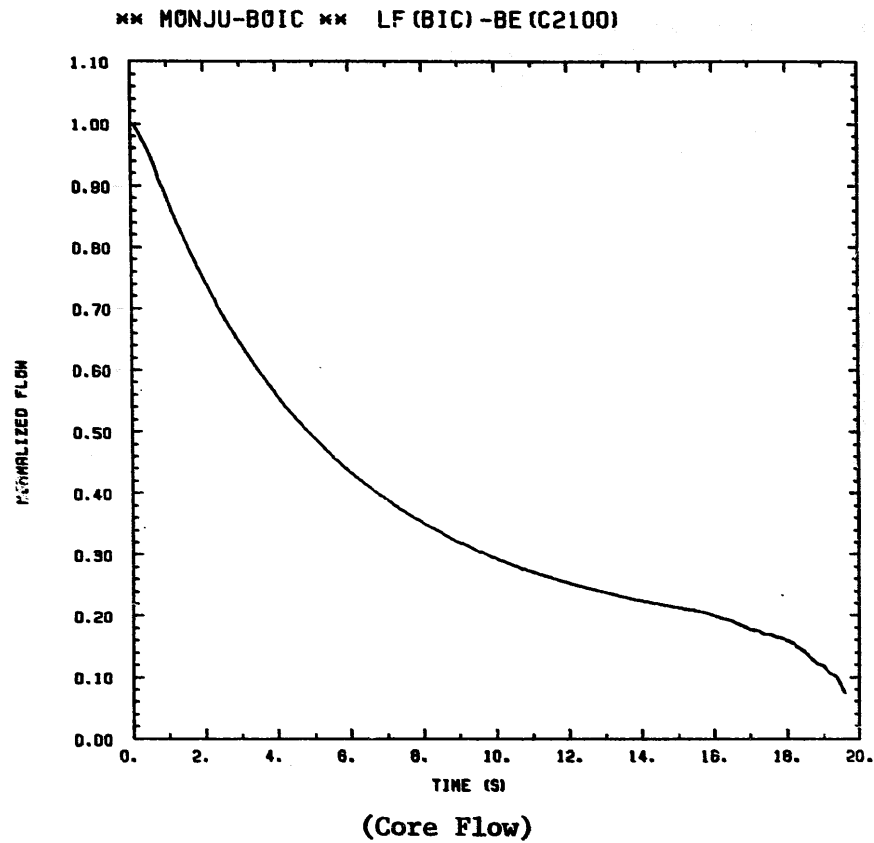


Fig. 4.2-5 Core flow coast down curve and pressure changes in inlet and outlet nozzle

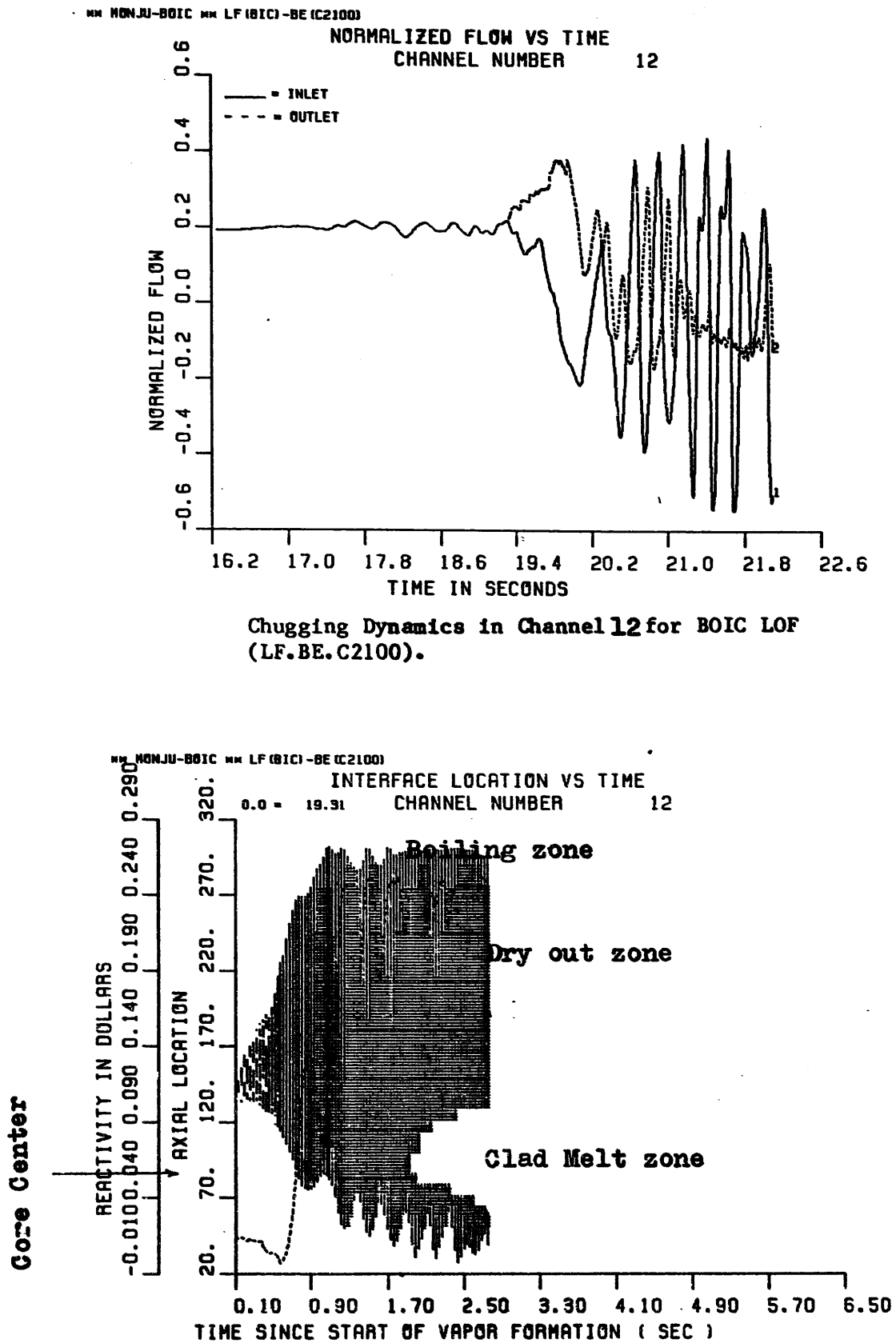


Fig. 4.2-6 Normalized flow and voiding profiles in ch.12 for BOIC LOF
Case ID : LF.BE.C2100

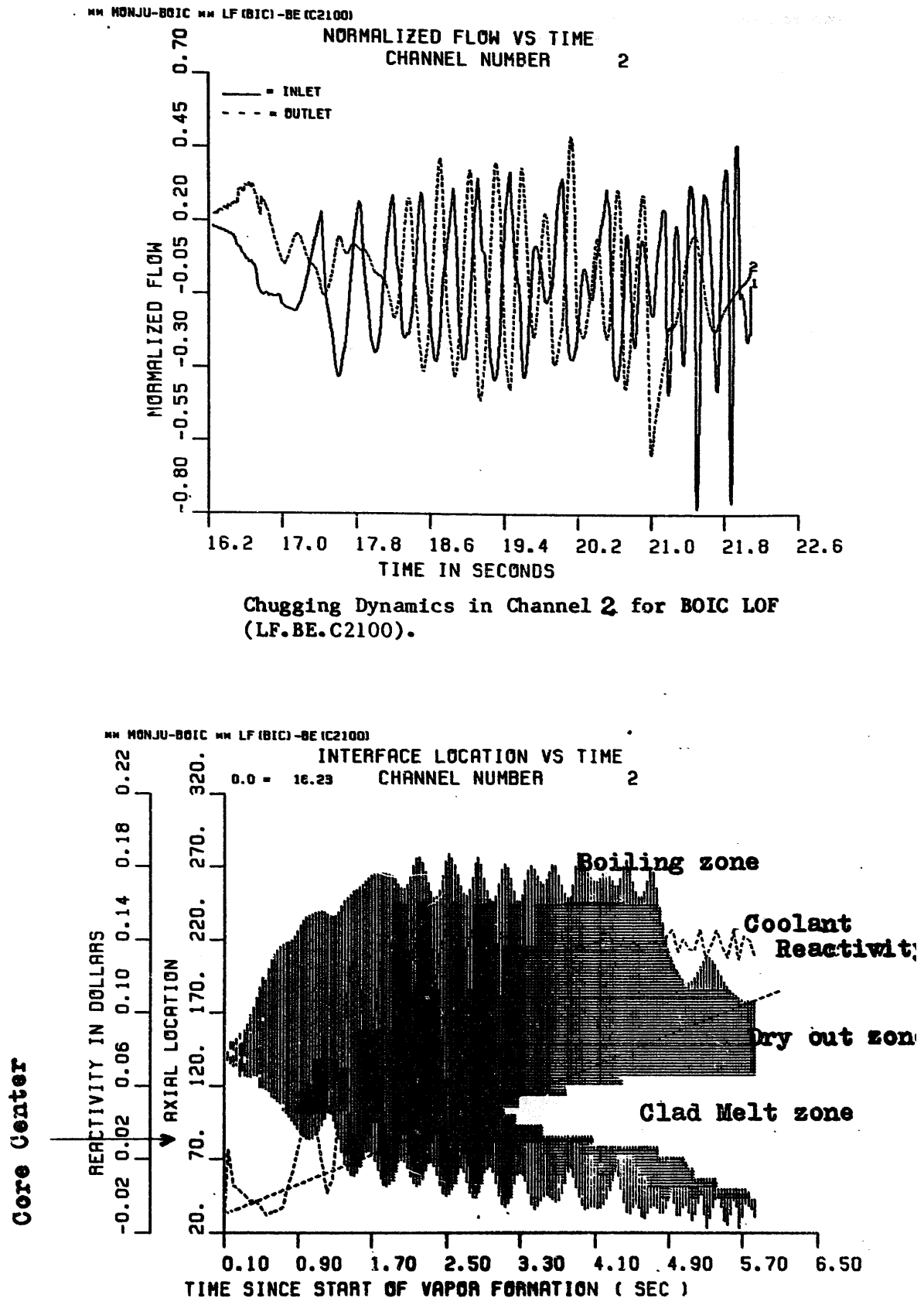


Fig. 4.2-7 Normalized flow and voiding profiles in ch.2 for BOIC LOF
Case ID : LF.BE.C2100

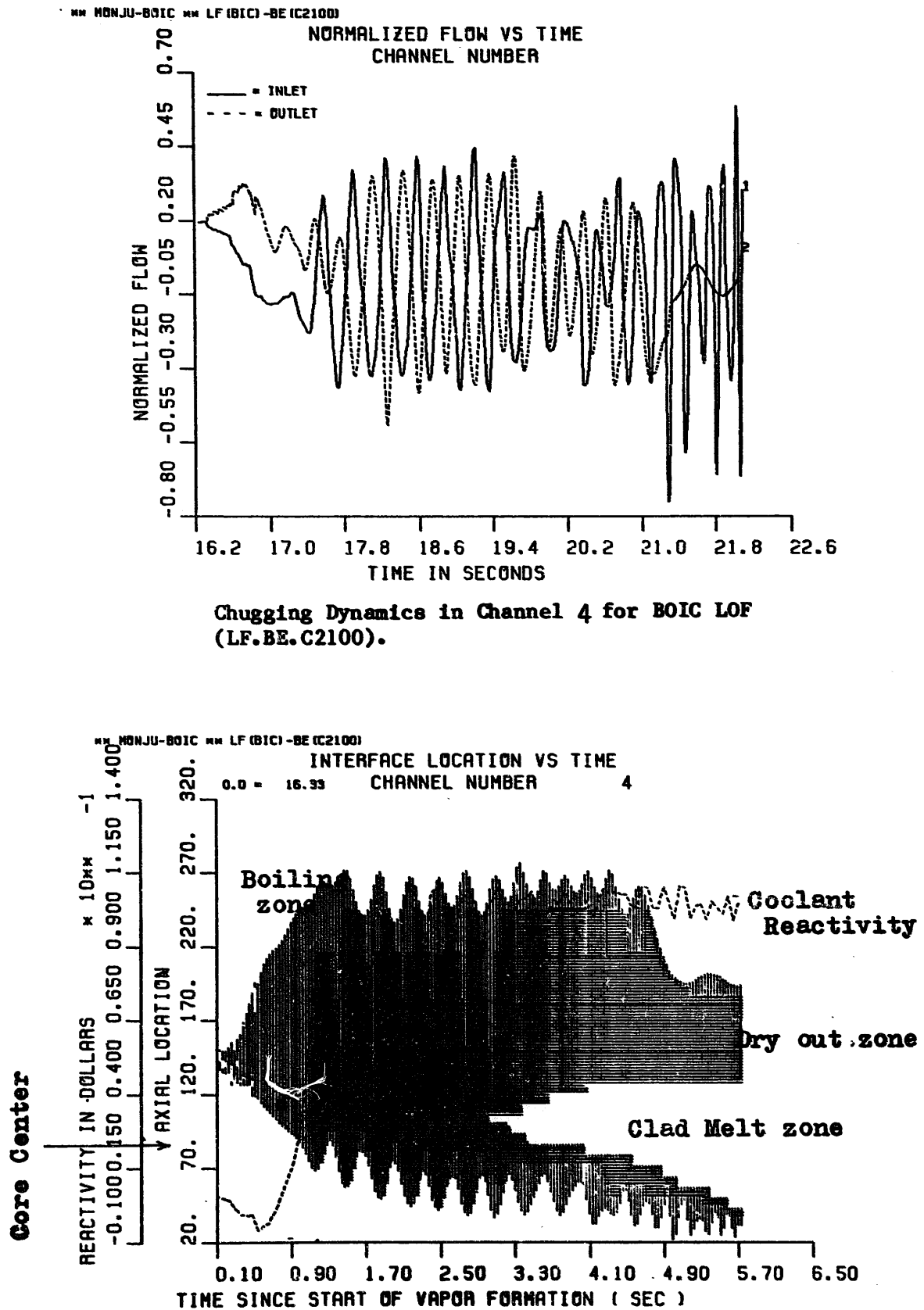


Fig. 4.2-8 Normalized flow and voiding profiles in ch.4 for BOIC LOF
Case ID : LF.BE.C2100

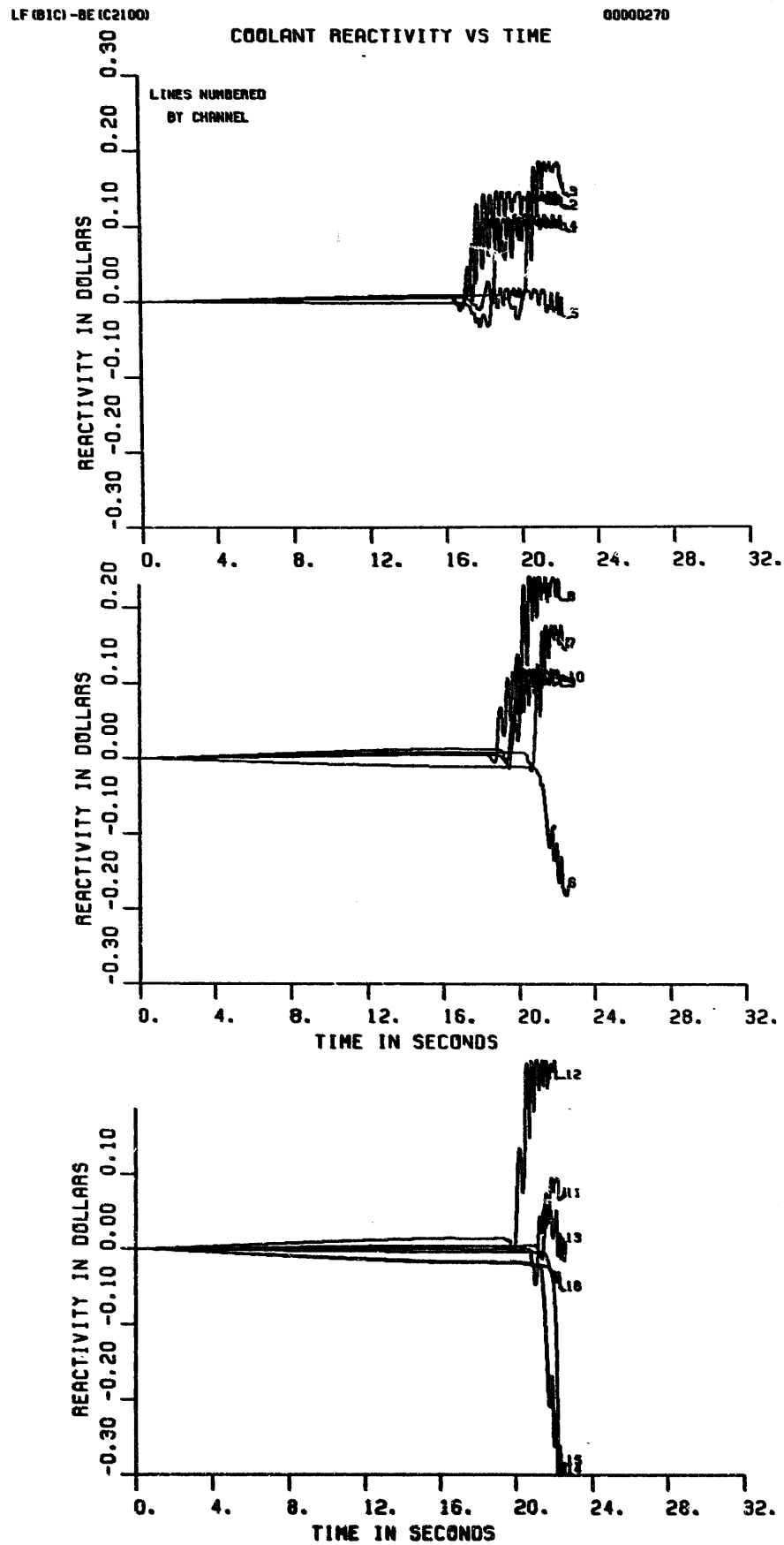
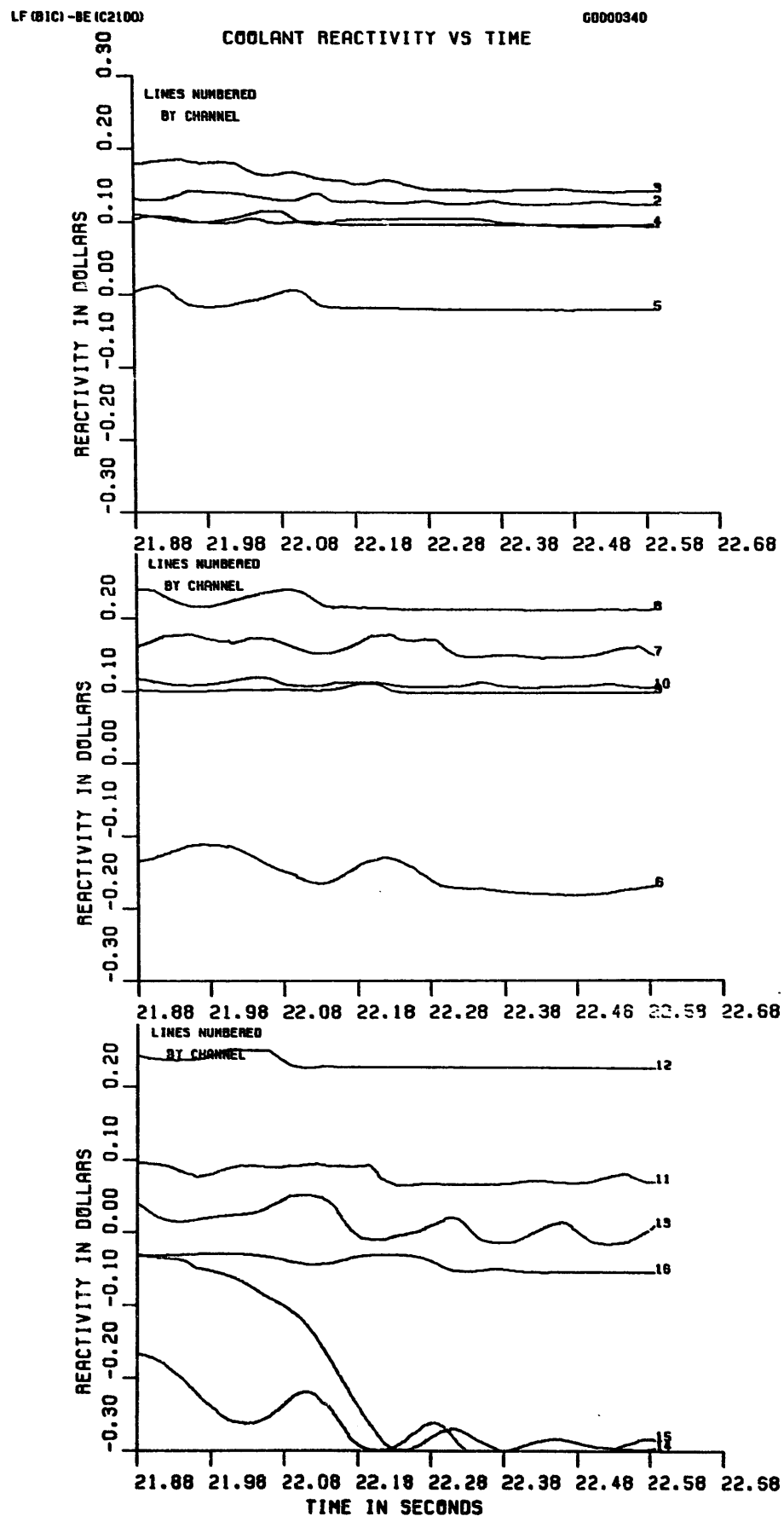


Fig. 4.2-9 Coolant reactivity traces by channel for BOIC LOF
Case ID : LF.BE.C2100



**Fig.4.2-10 Coolant reactivity traces by channel for BOIC LOF
Case ID : LF.BE.C2100**

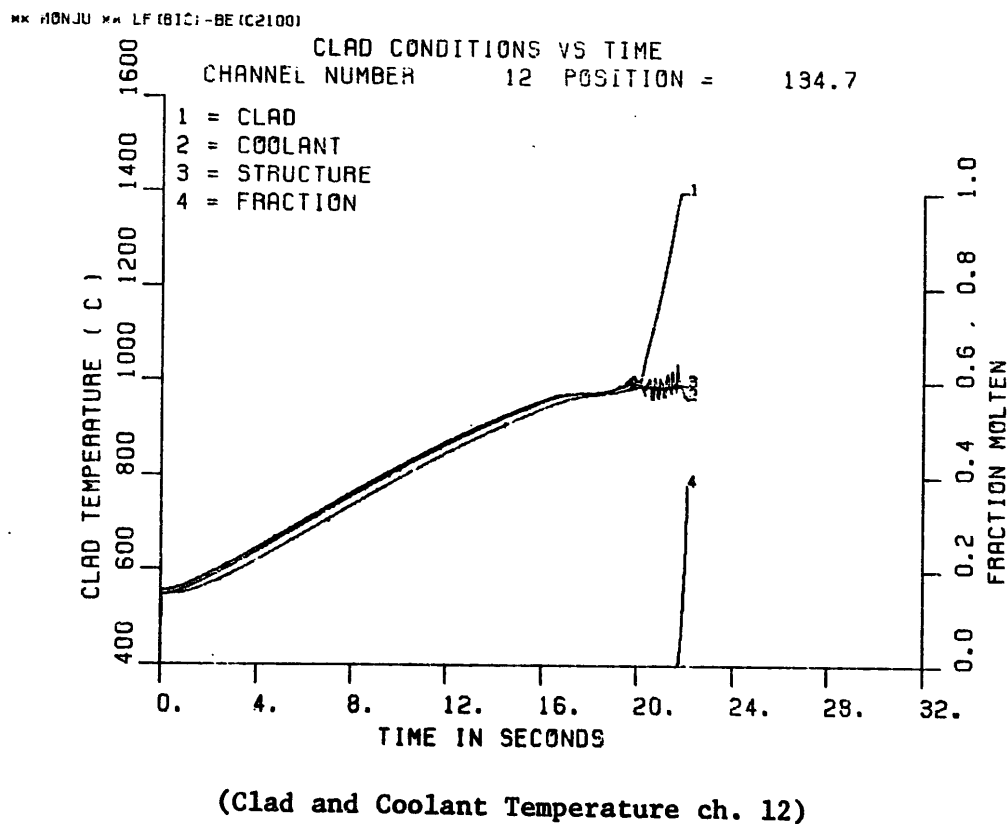
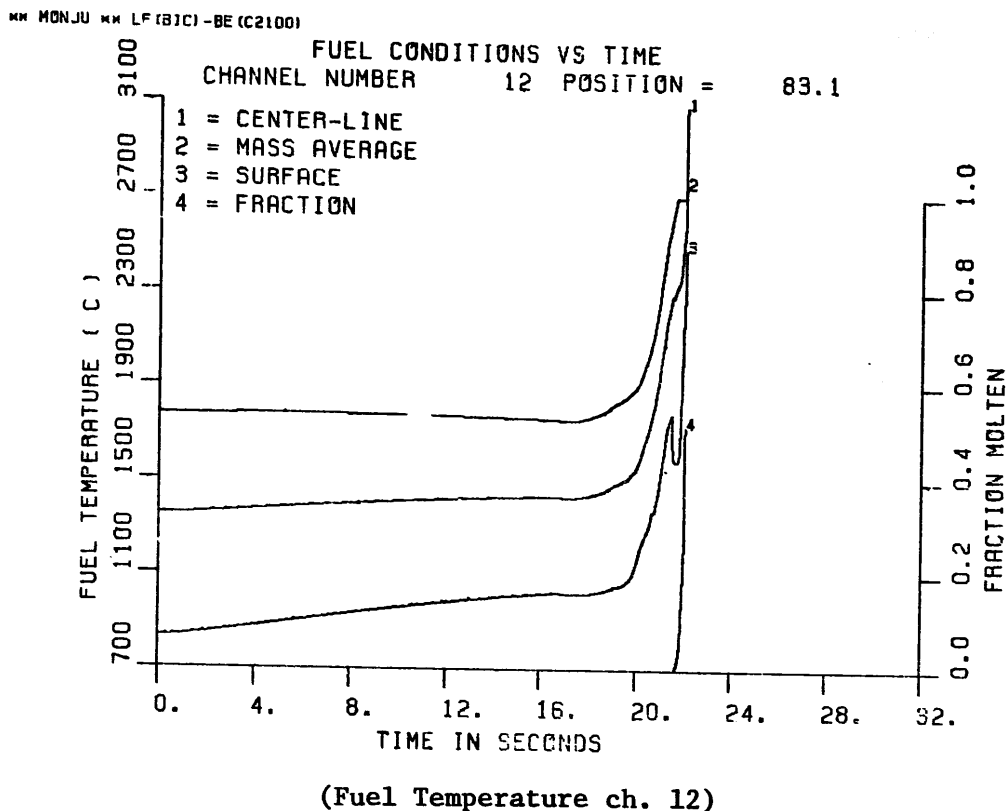


Fig.4.2-11 fuel and cladding temperature histories for BOIC LOF
Case ID : LF.BE.C2100

LF (BIC) -3E (C2100)

00000270

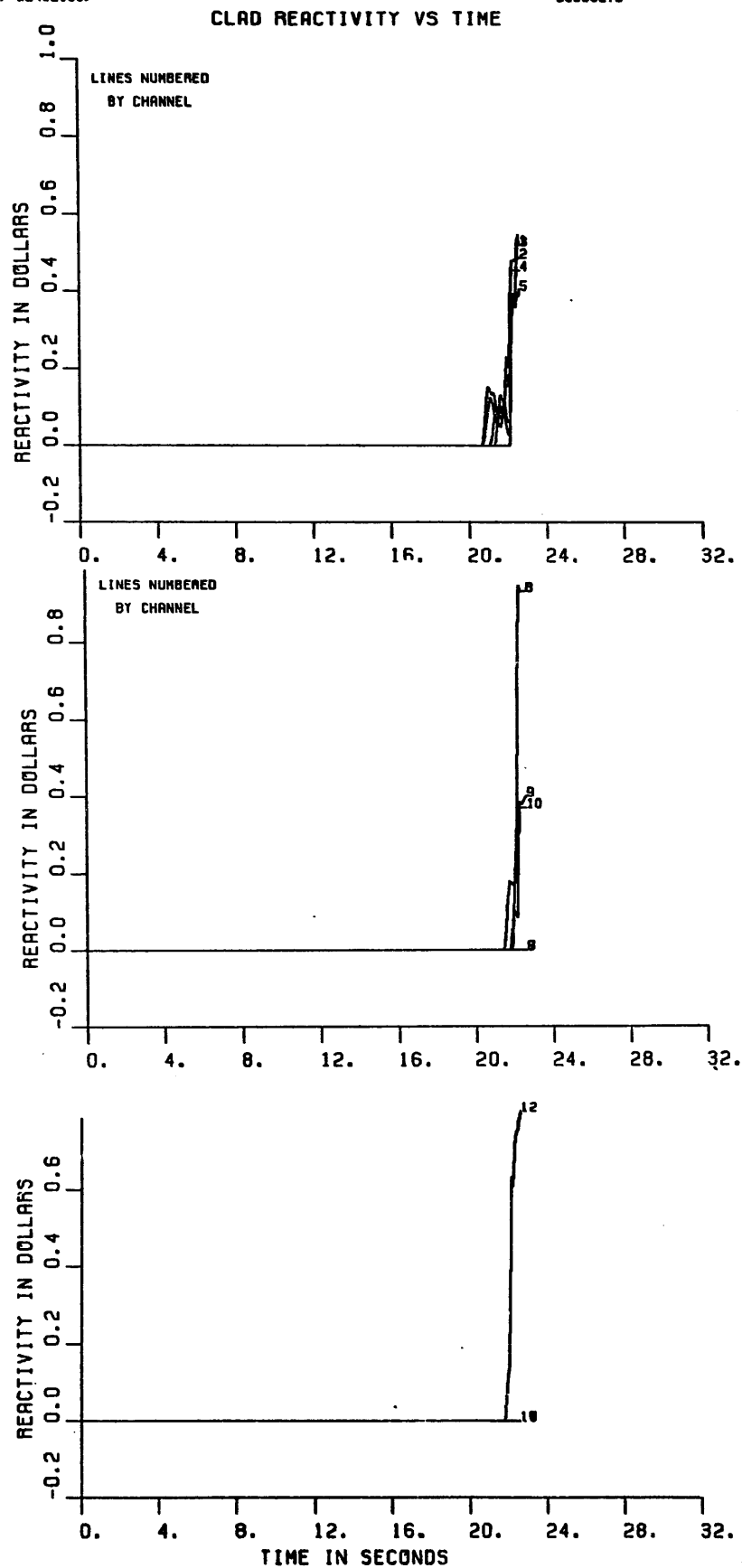


Fig.4.2-12 Cladding reactivity traces by channel for BOIC LOF
Case ID : LF.BE.C2100

LF(BIC)-BE(C2100)

00000340

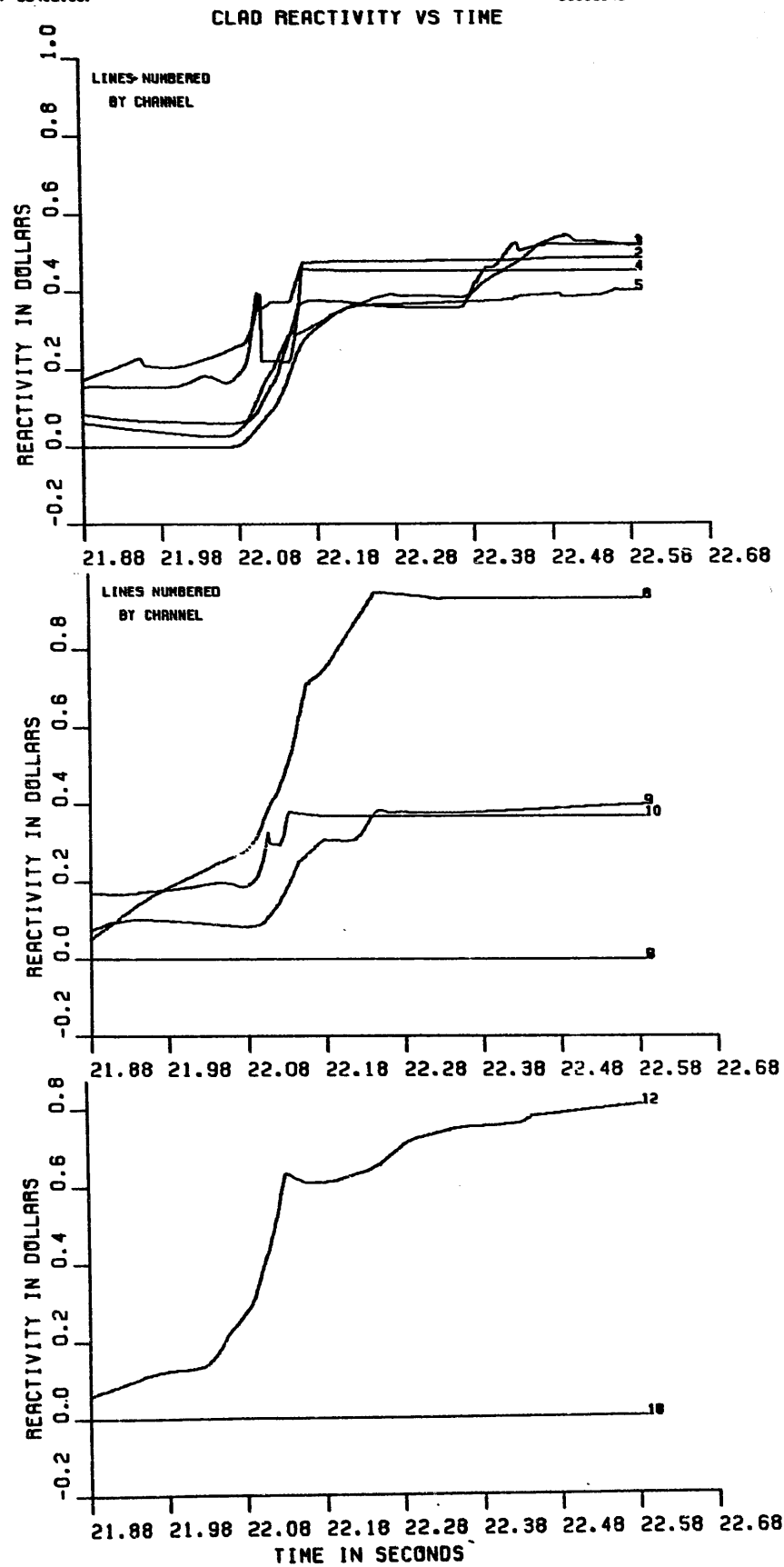


Fig.4.2-13 Cladding reactivity traces by channel for BOIC LOF
Case ID : LF.BE.C2100

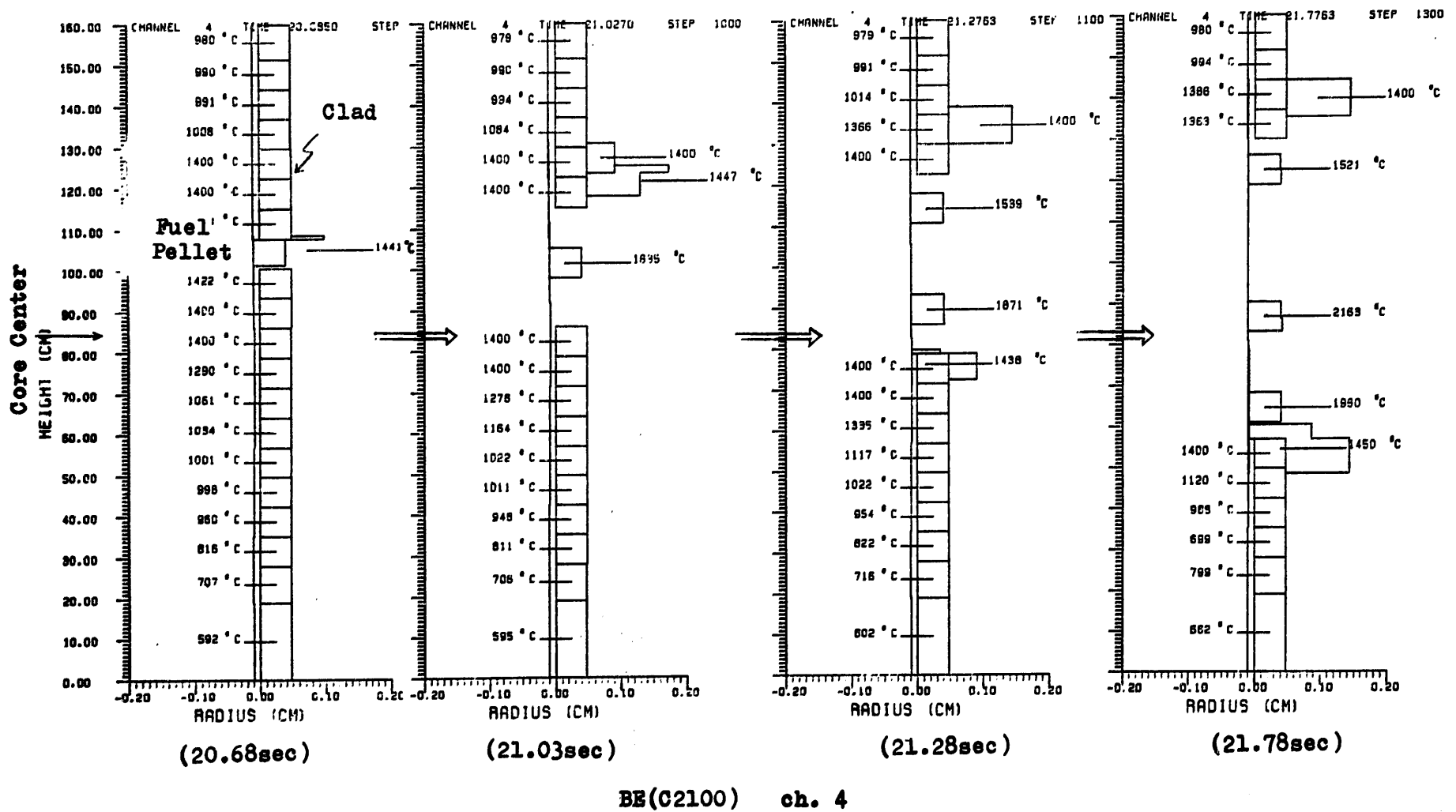


Fig.4.2-14 Cladding relocation in ch.4 for BOIC LOF Case ID : LF.BE.C2100

LF (BIC) -BE (C2100)

00000270

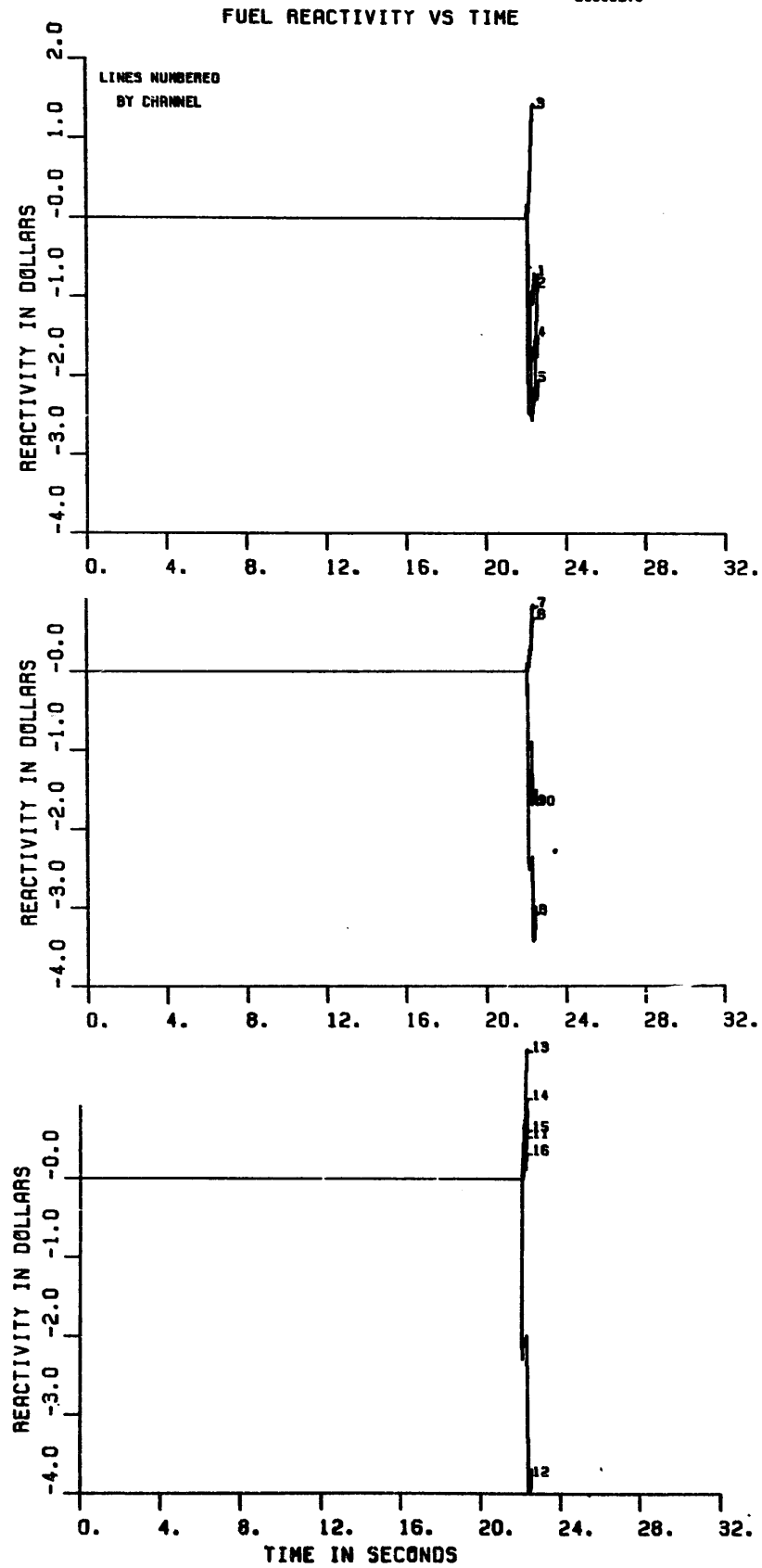


Fig.4.2-15 Fuel reactivity traces by channel for BOIC LOF
Case ID : LF,BE.C2100



Case ID : LF,BE.C2100

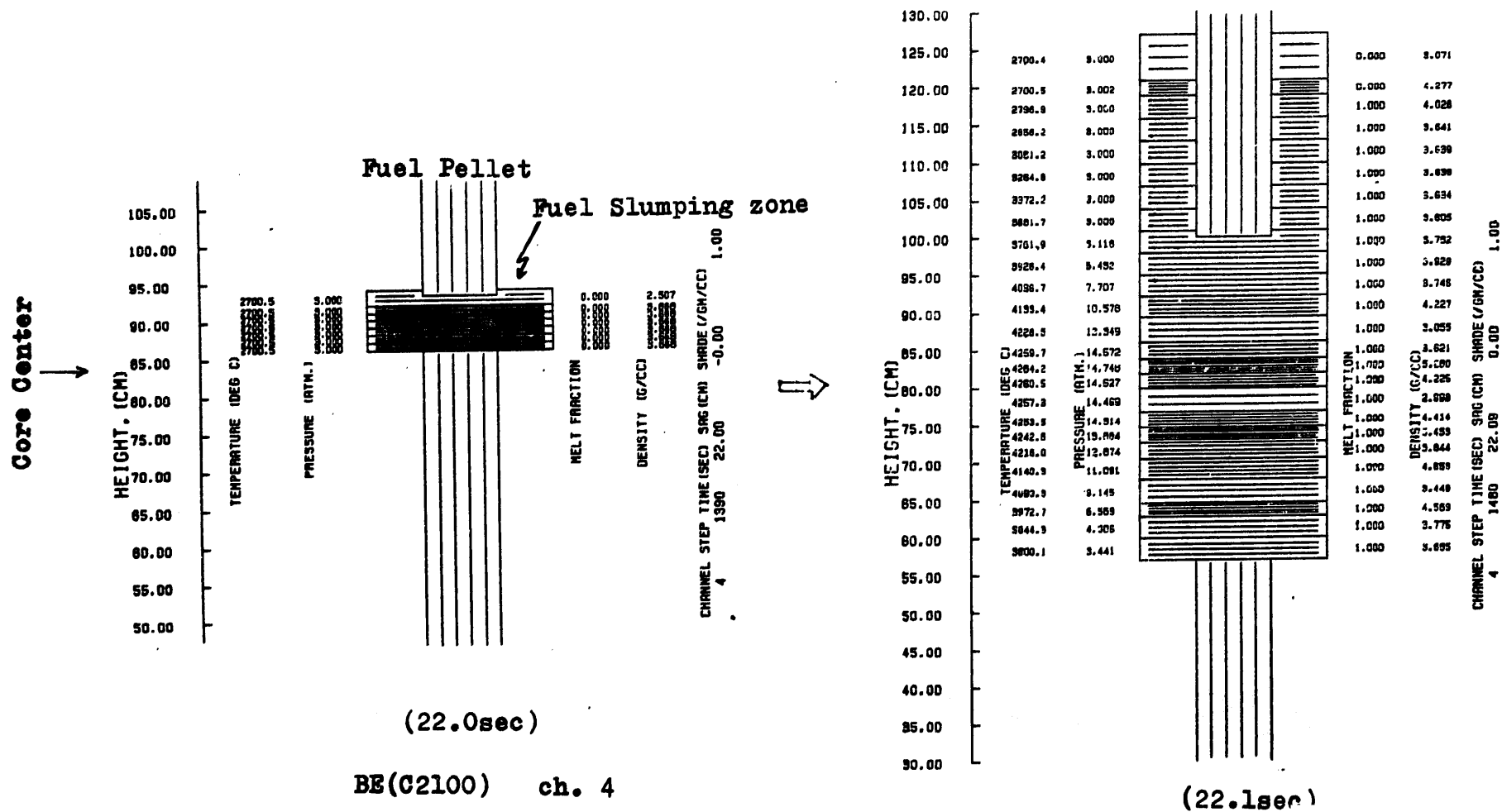
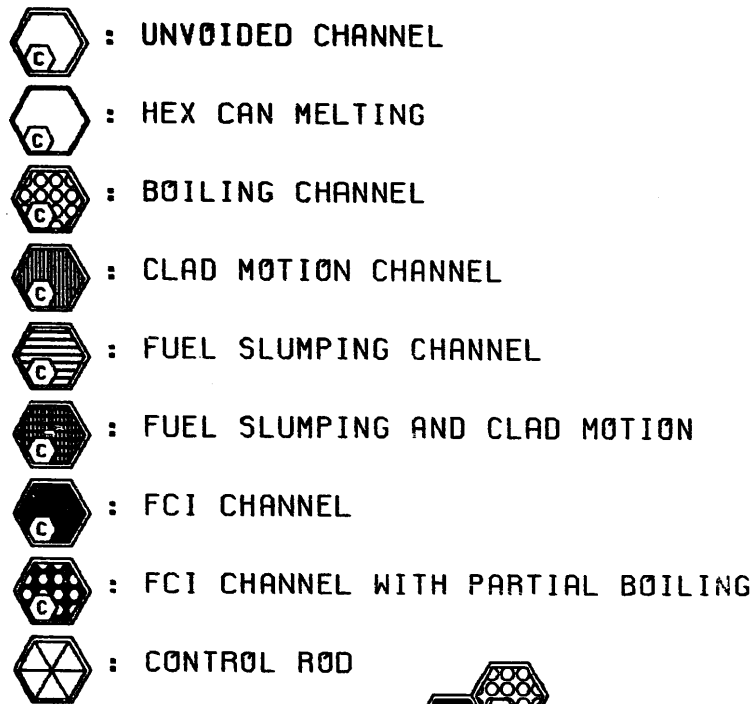
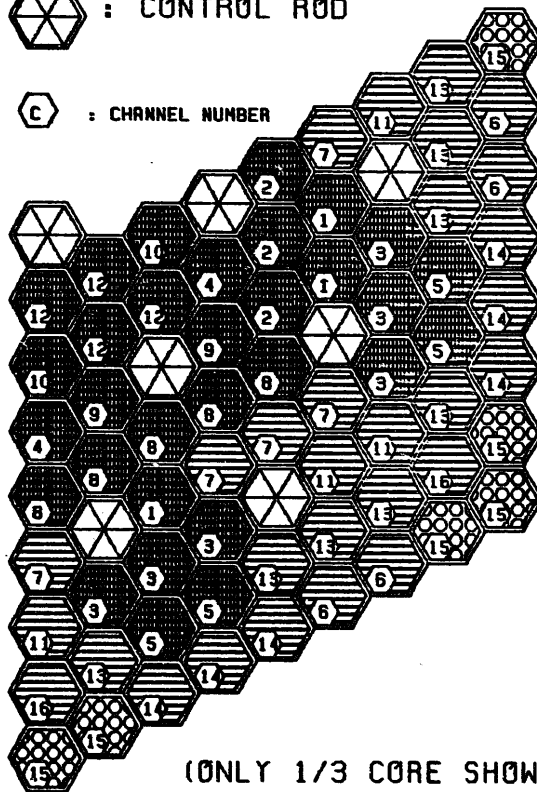


Fig.4.2-17 Fuel dispersion in ch.4 for BOIC LOF (LF.BE.C2100)



: CHANNEL NUMBER



(ONLY 1/3 CORE SHOWN)

LOF (BIC) - C2100

TIME = 22.08927 (SEC) , STEP = 1488

NET REACTIVITY = 0.91857 (DOLLARS)

Fig. 4.2-18 Core state at T=22.09 sec for LF, BE, C2100

	$4000 < T$	K	ACTIVE CORE STATE :	
	$3500 < T < 4000$	K		
	$TMELT+1 < T < 3500$	K		MAX FUEL TEMP. (K) = 4802.3
	$TMELT-1 < T < TMELT+1$	K		MIN FUEL TEMP. (K) = 2047.7
	$2000 < T < TMELT-1$	K		AVERAGE FUEL TEMP. (K) = 3354.1
	$T < 2000$	K	TEMP. PEAKING FACTOR = 1.4	
MOLTEN CORE STATE: TOTAL MOLTEN FUEL MASS (KG)				= 4892.1
MOLTEN FUEL AVERAGE TEMP. (K)				= 3578.2
ENERGY ABOVE FUEL SOLIDUS (MJ)				= 2359.1

LF (BIC) -BE.C2100.STP1487

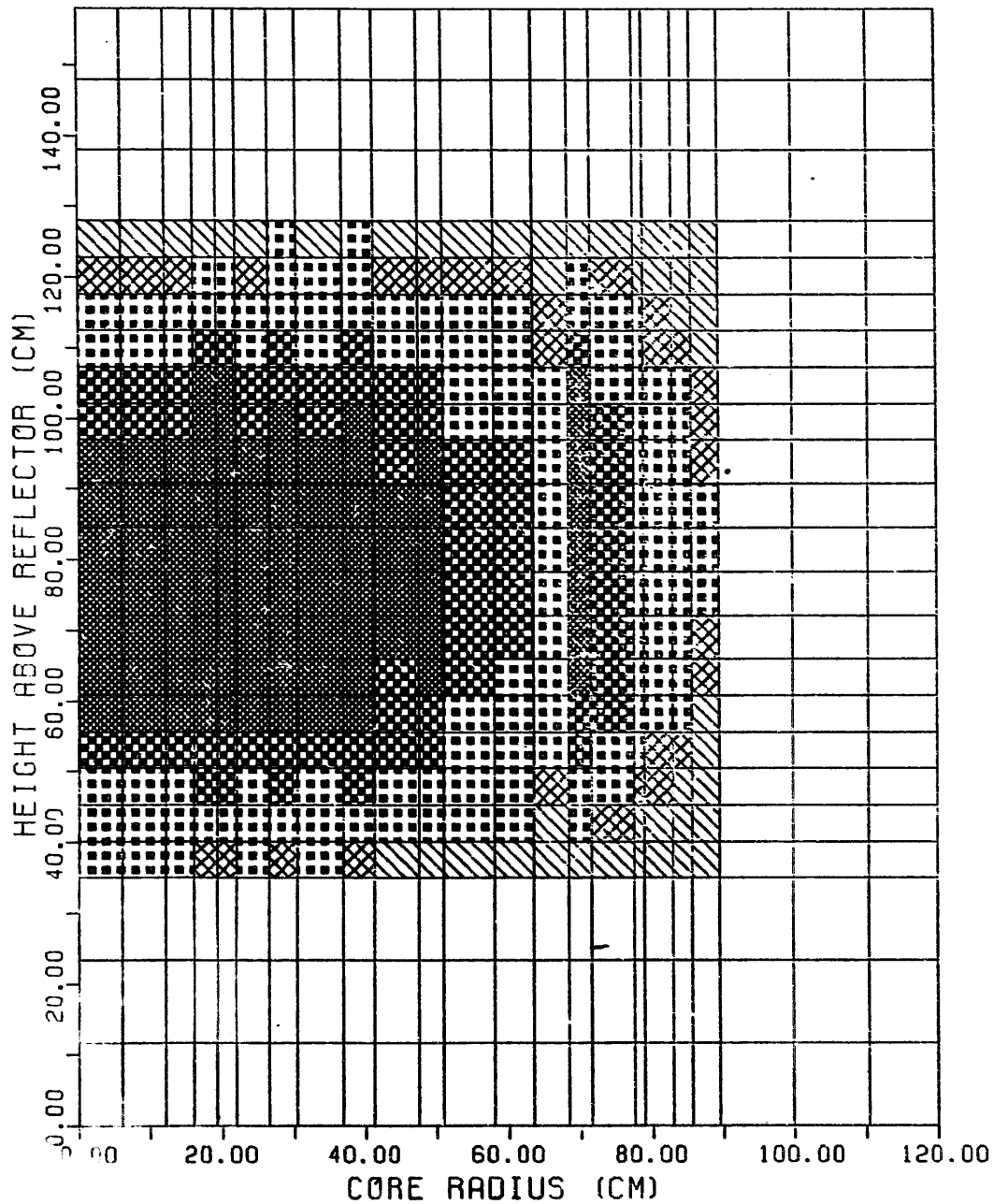
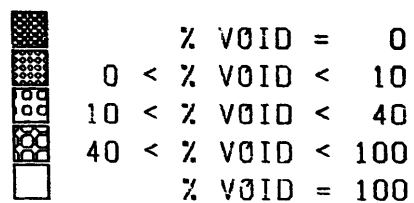


Fig.4.2-19 Fuel temperature distribution at T=22.09 sec
for LF.BE.C2100



LF (BIC) -BE.C2100.STP1487

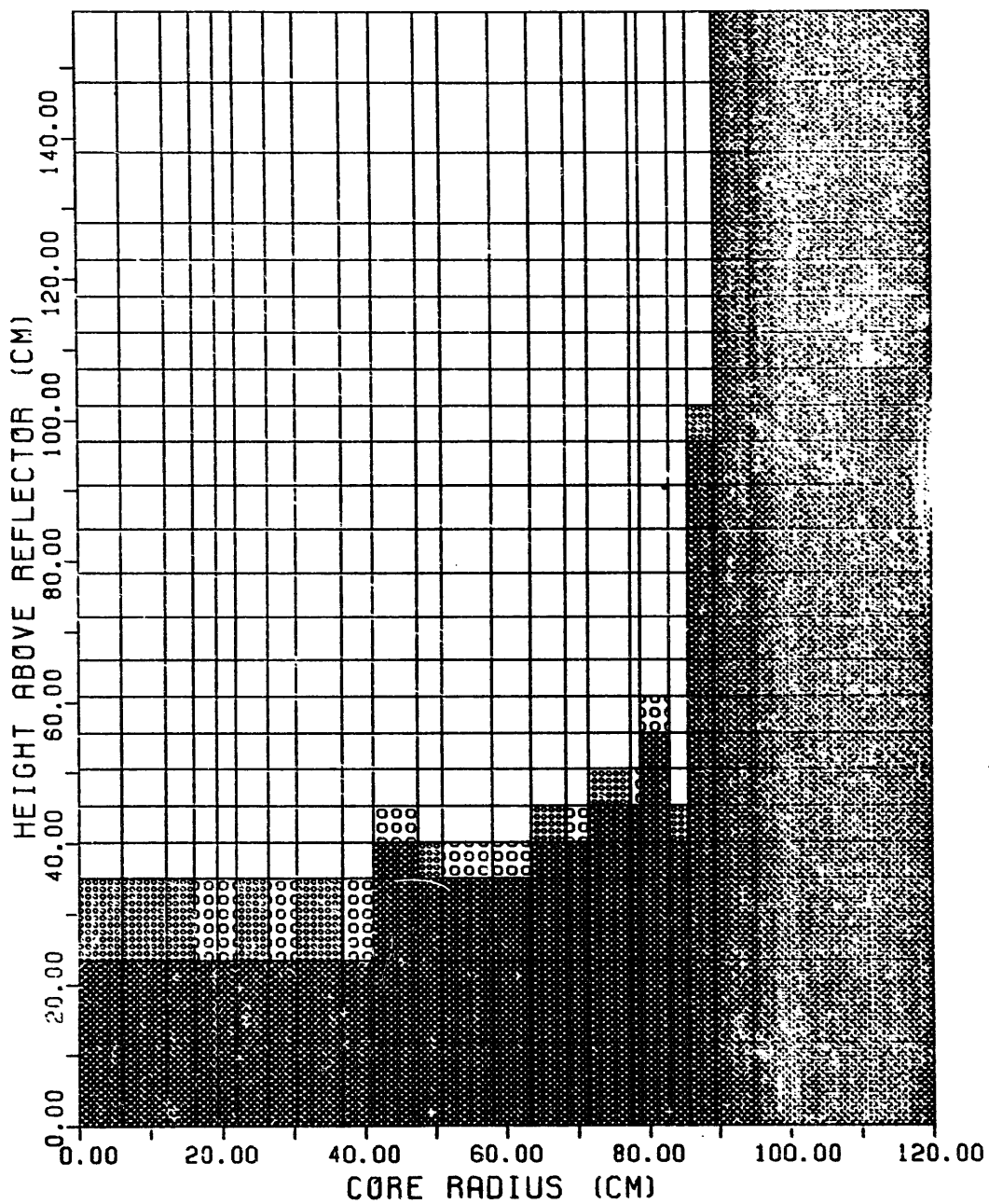
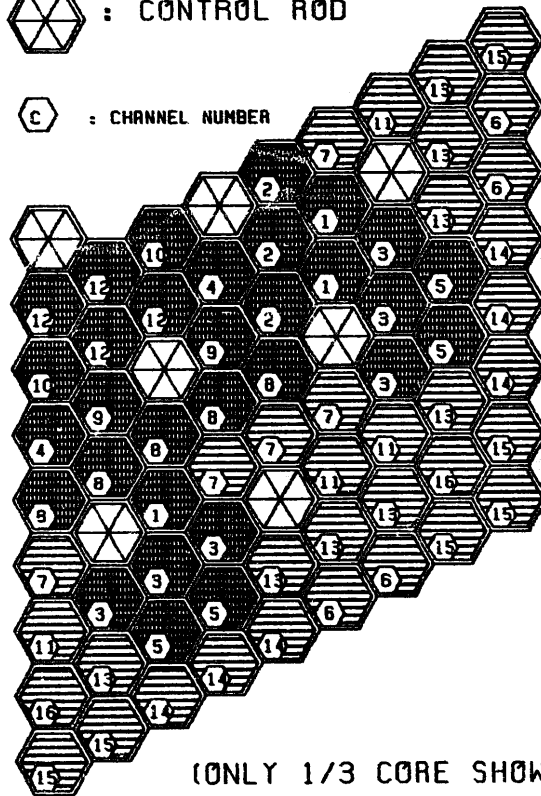
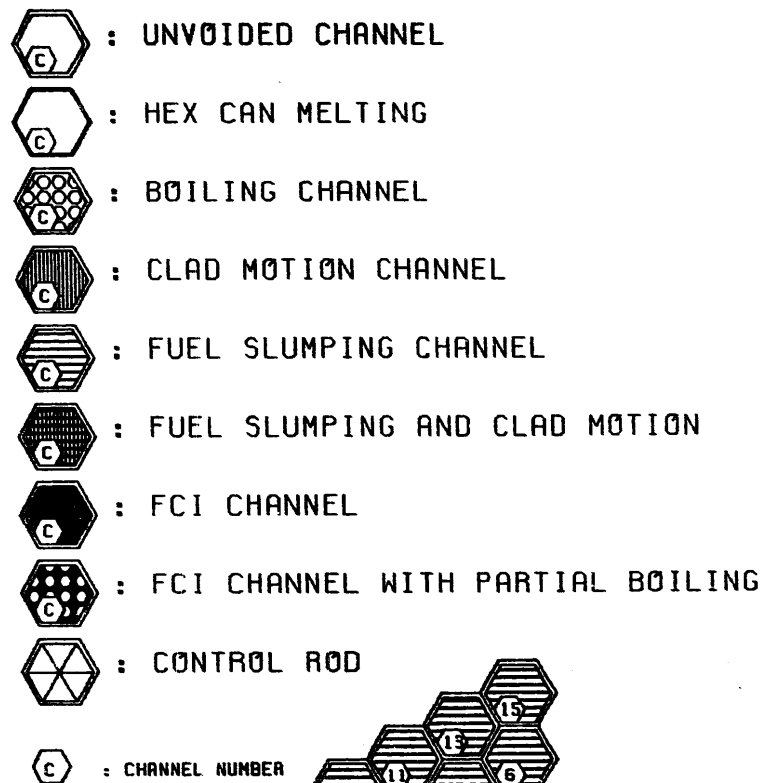
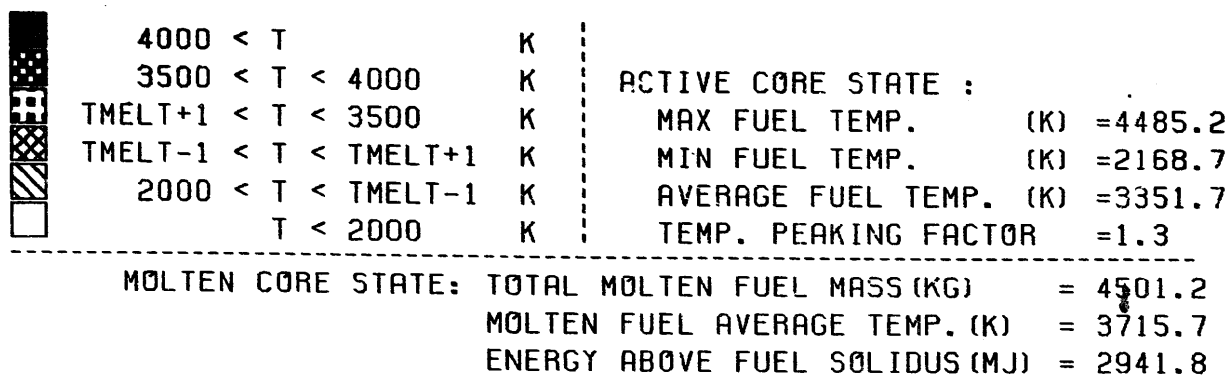


Fig.4.2-20 Coolant void distribution at T=22.09 sec for LF.BE.C2100



(ONLY 1/3 CORE SHOWN)
 LOF (BIC) -BE (C2100)
 TIME =22.58922 (SEC) , STEP =1916
 NET REACTIVITY =-4.87826 (DOLLARS)

Fig.4.2-21 Core state at the end of initiating phase for BOIC LOF
 Case ID : LF.BE,C2100



LF (BIC) -BE.C2100.STP1916

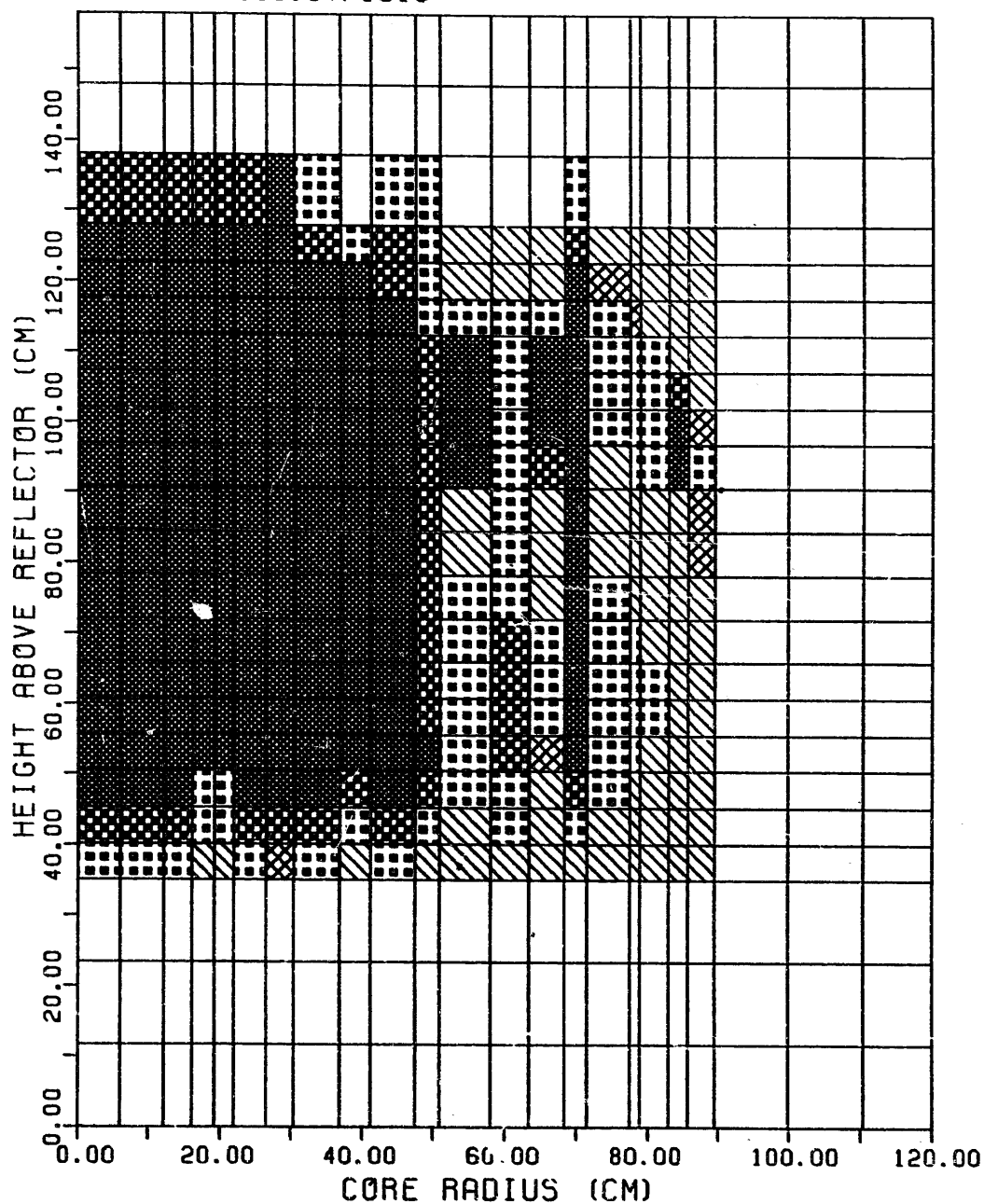
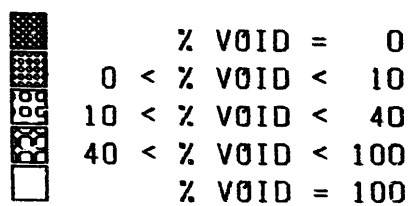


Fig.4.2-22 Fuel temperature distribution at the end of initiating phase
for BOIC LOF
Case ID : LF.BE.C2100



LF (BIC) -BE.C2100.STP1916

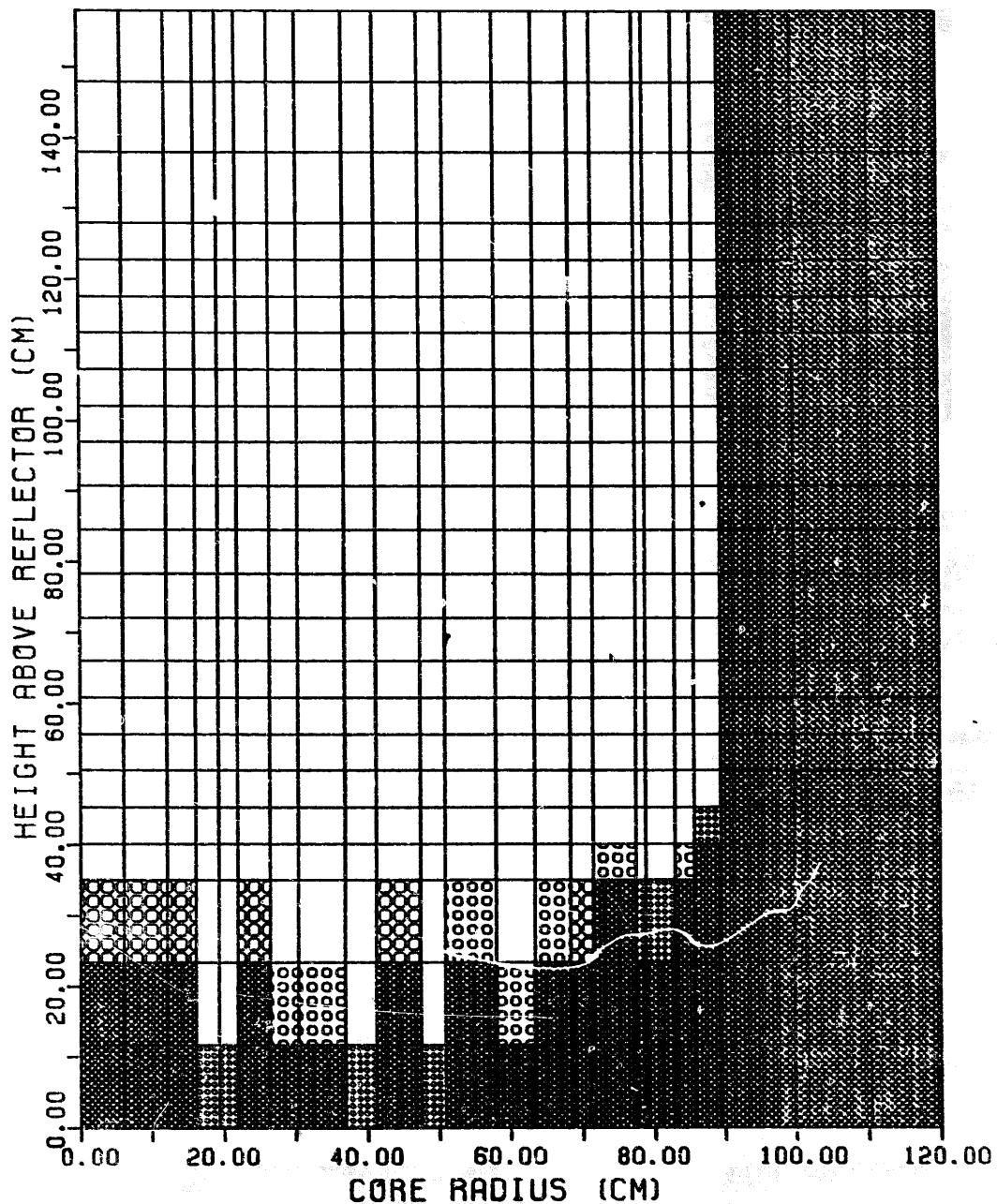


Fig.4.2-23 Fuel temperature distribution at the end of initiating phase for BOIC LOF
Case ID : LF.BE.C2100

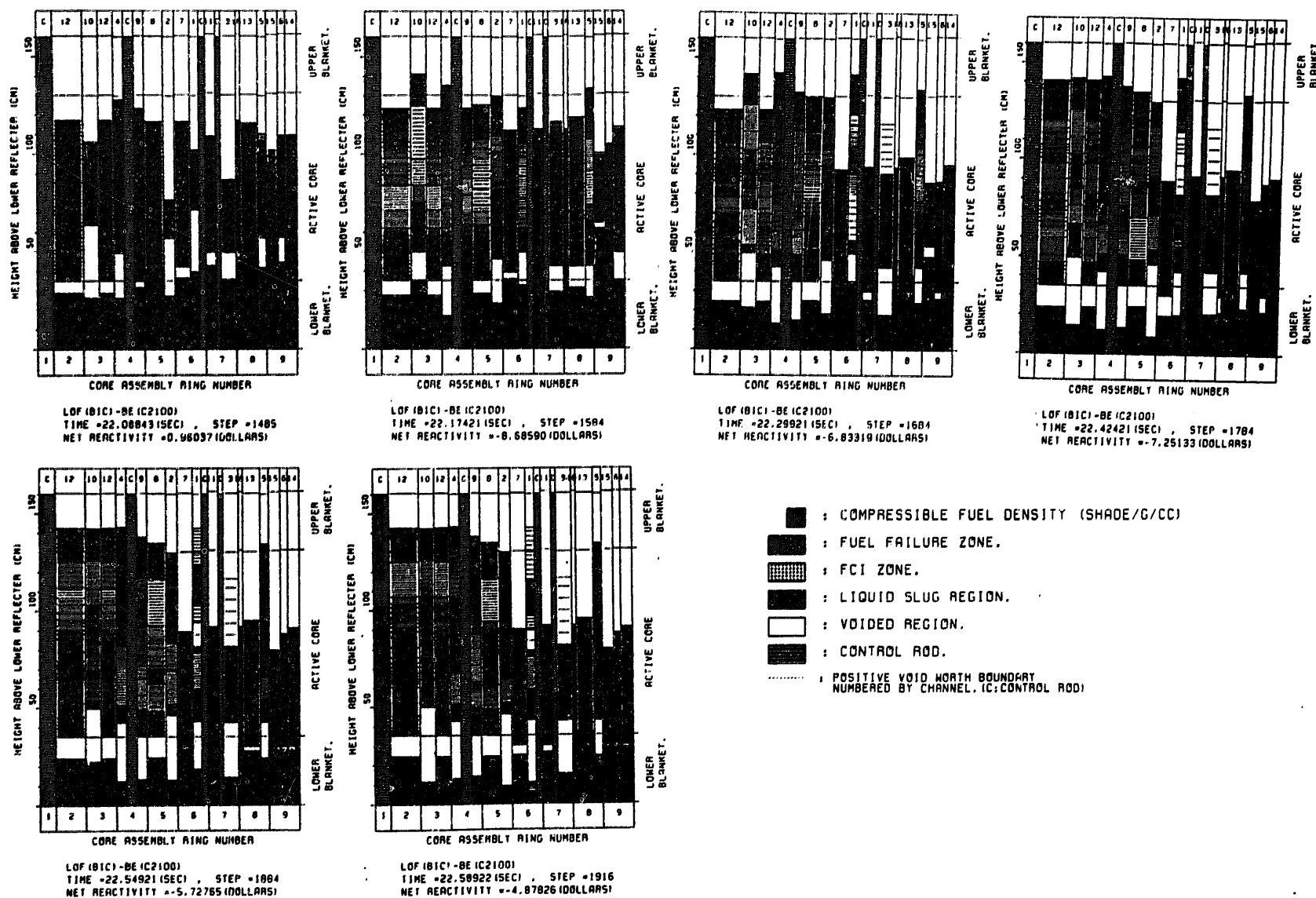


Fig.4.2-24 Fuel density distributions are shown from T=22.09 sec to T=22.59 sec where the initiating phase is completely shutdown for LF.BE.C2100.

FUEL VAPOR WORK (AT ONE ATM) = 33.3 (MJ)
 FUEL VAPOR WORK (AT SLUG IMPACT) = 25.1 (MJ)

△ — △ : FUEL VAPOR WORK ENERGY
 ○ — ○ : FUEL VAPOR PRESSURE

LF (BIC) - BE.C2100.STP1487

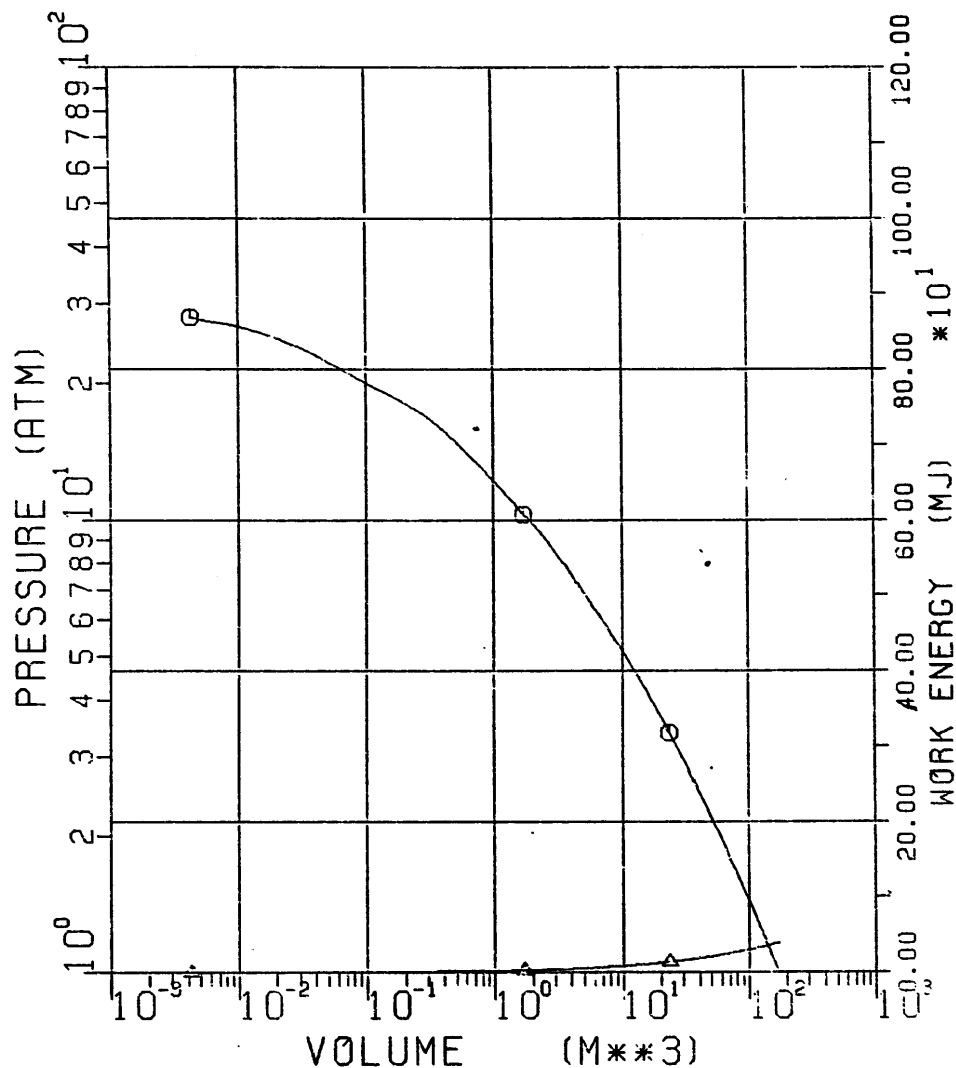


Fig.4.2-25 P-V curve and corresponding fuel vapor expansion work for the two phase fuel generated at the end of initiating phase for LF.BE.C2100.

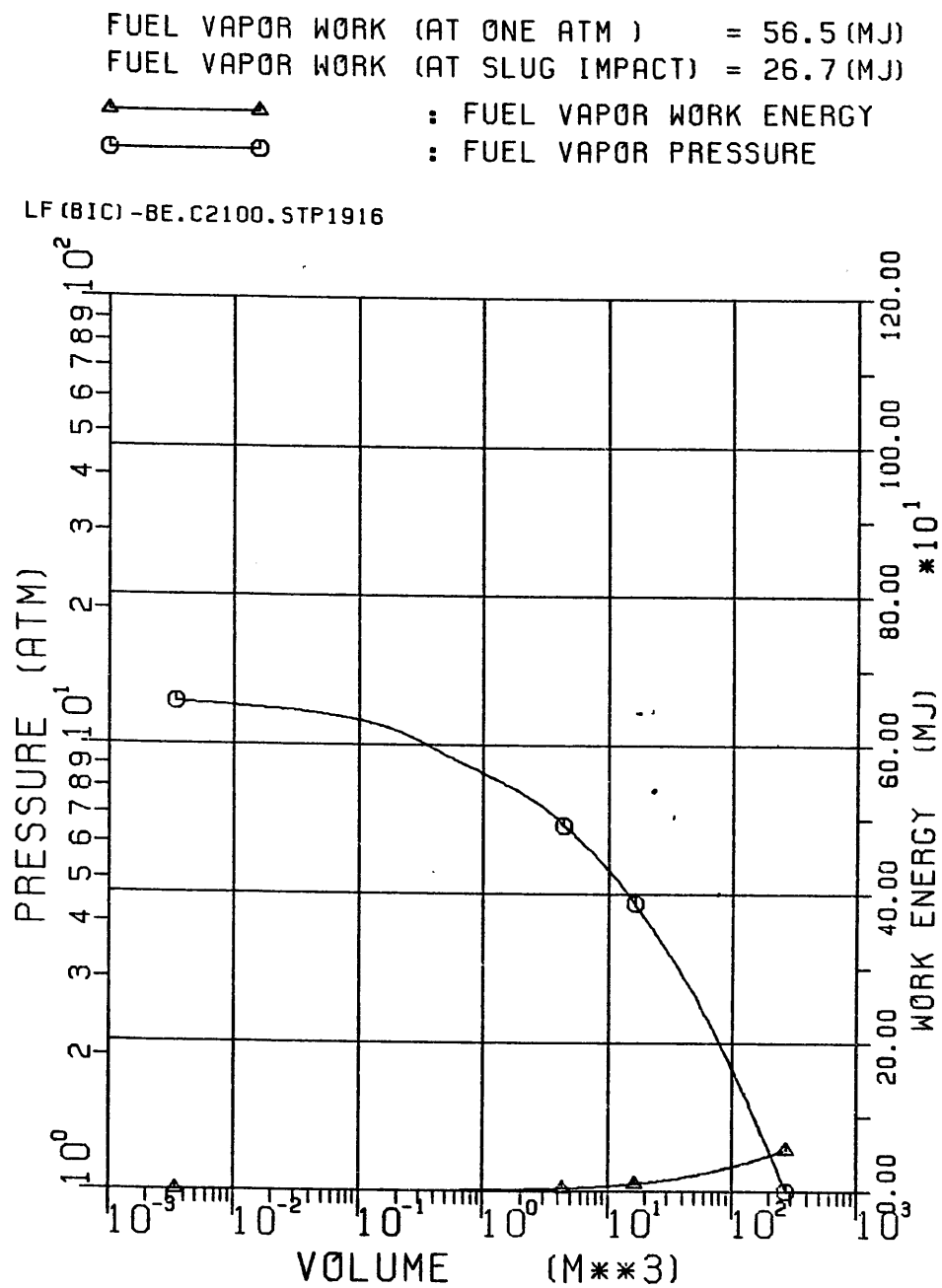


Fig.4.2-26 P-V curve and corresponding fuel vapor expansion work for the two phase fuel generated at the end of initiating phase for LF.BE.C2100.

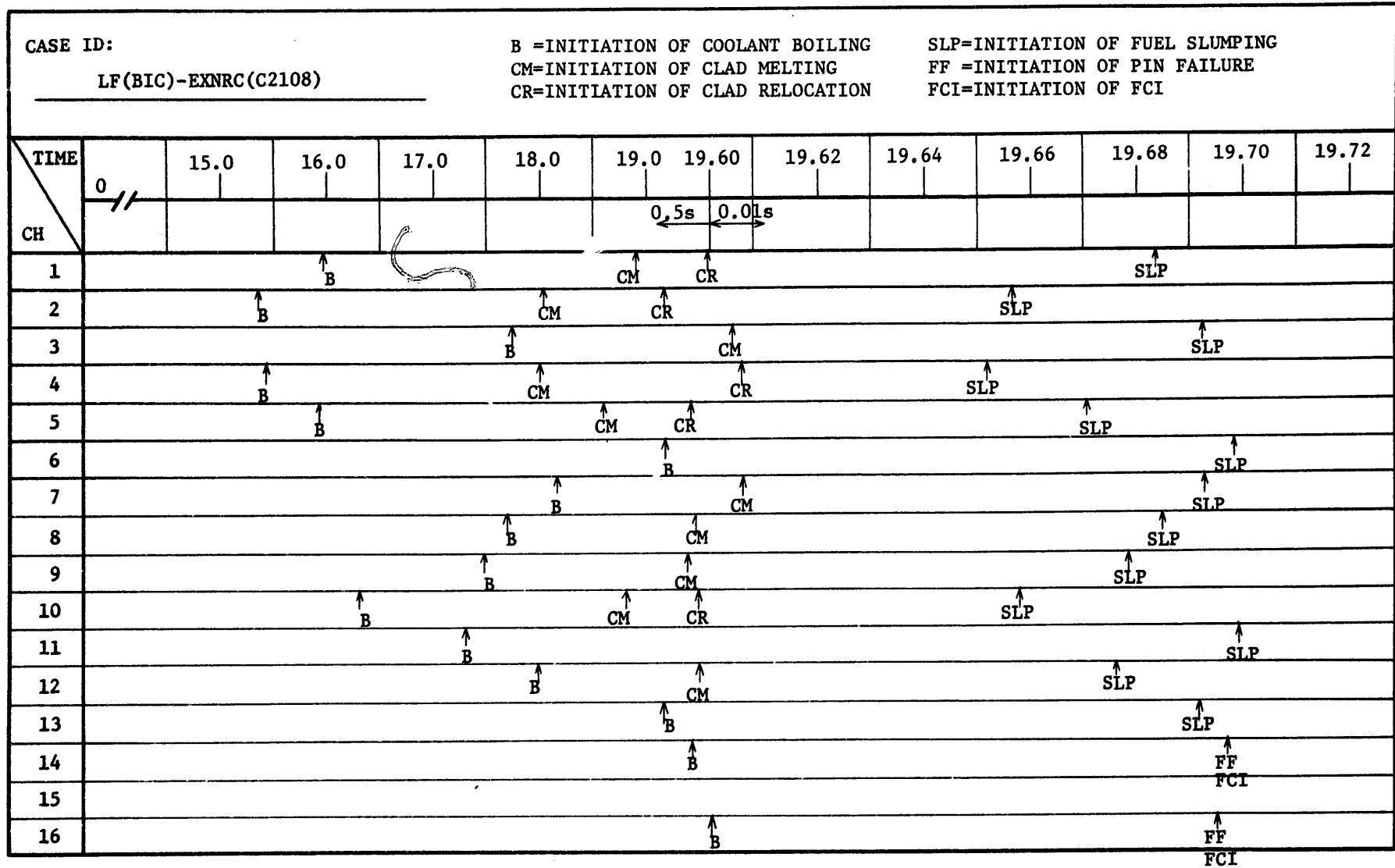


Fig. 4.2-27 Timing of events for BOIC LOF (LF.EXNRC.C2108)

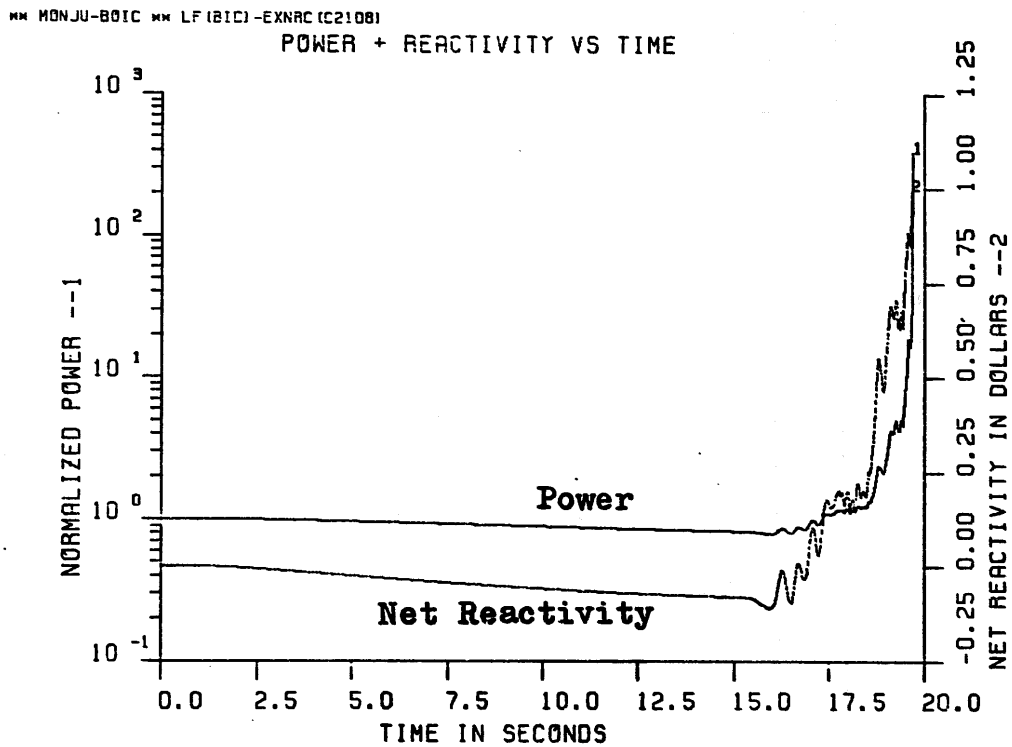
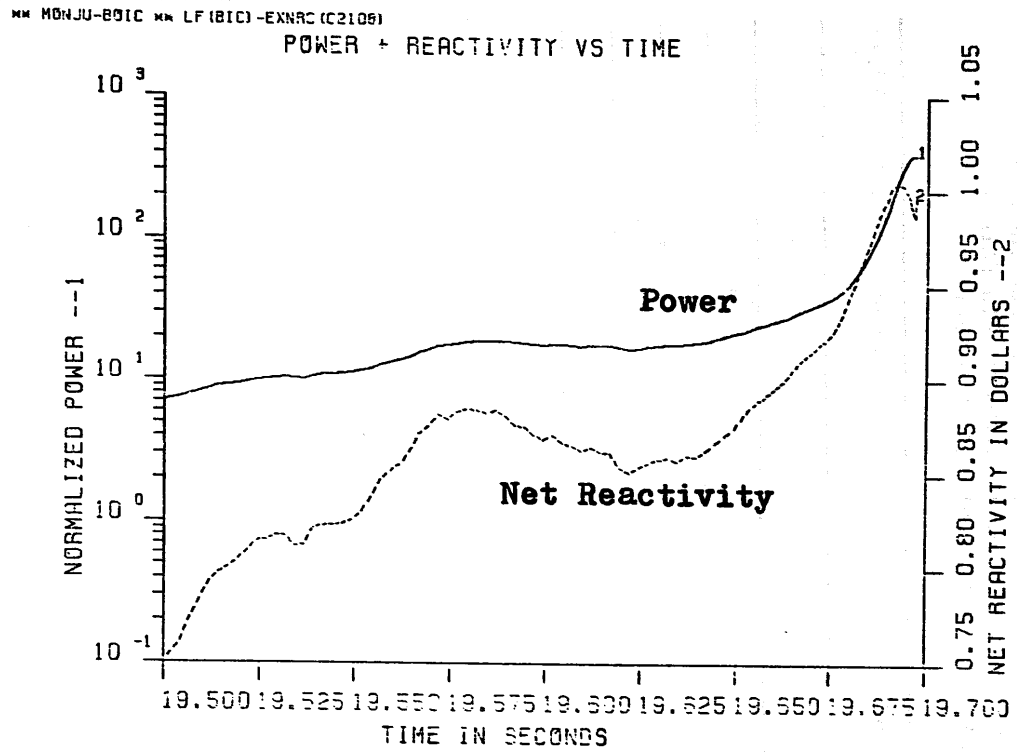


Fig.4.2-28 Power and net reactivity profiles for BOIC LOF
Case ID : LF.EXNRC.C2108

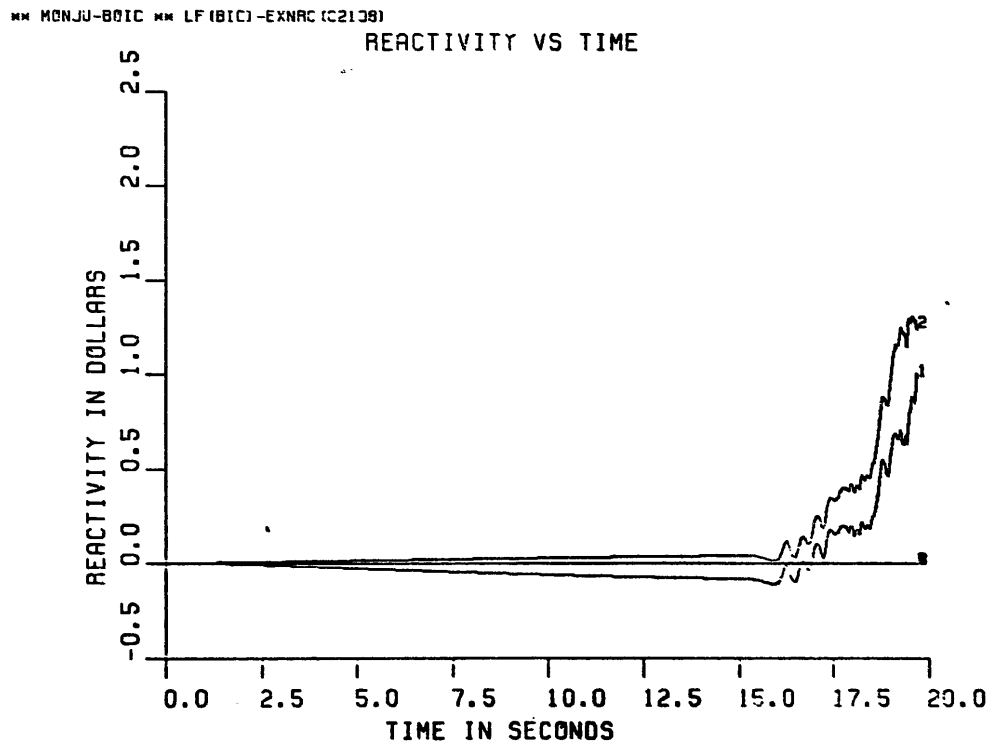
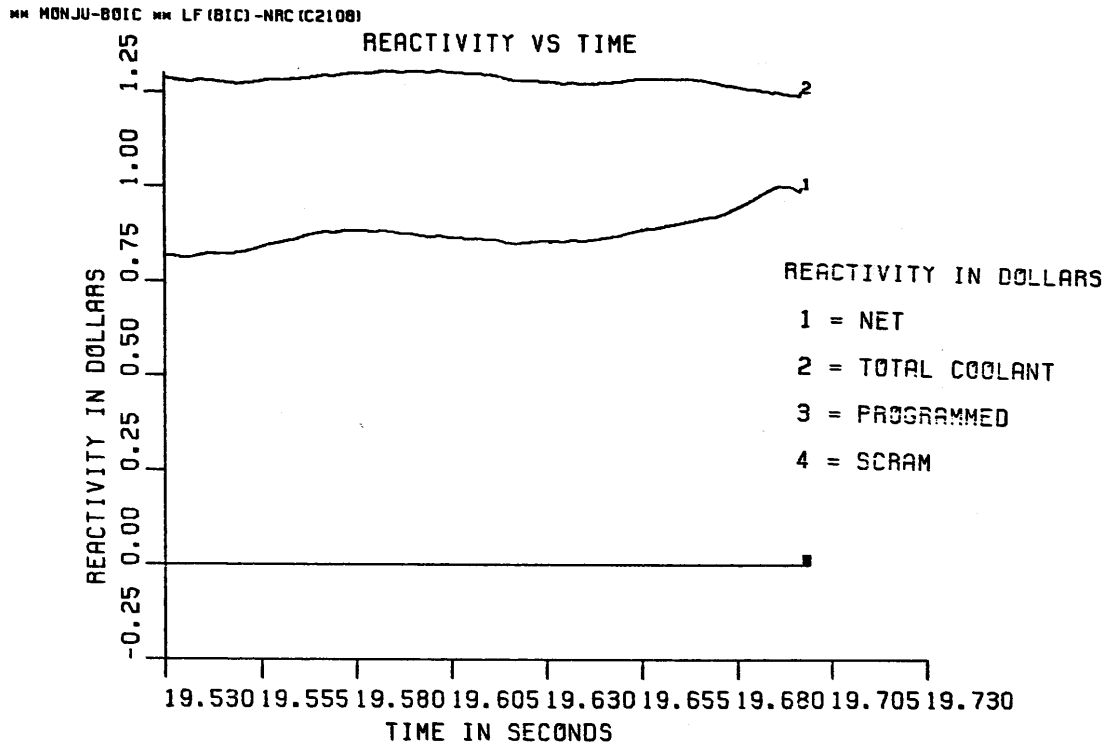


Fig.4.2-29 Component reactivity traces for BOIC LOF
Case ID : LF.EXNRC.C2108

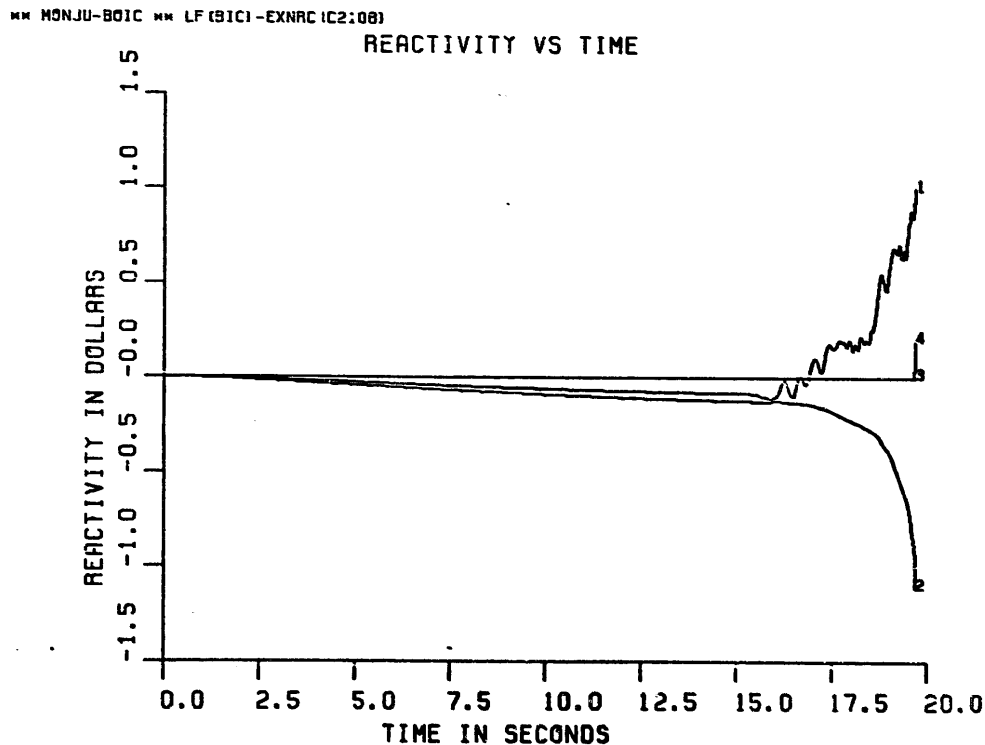
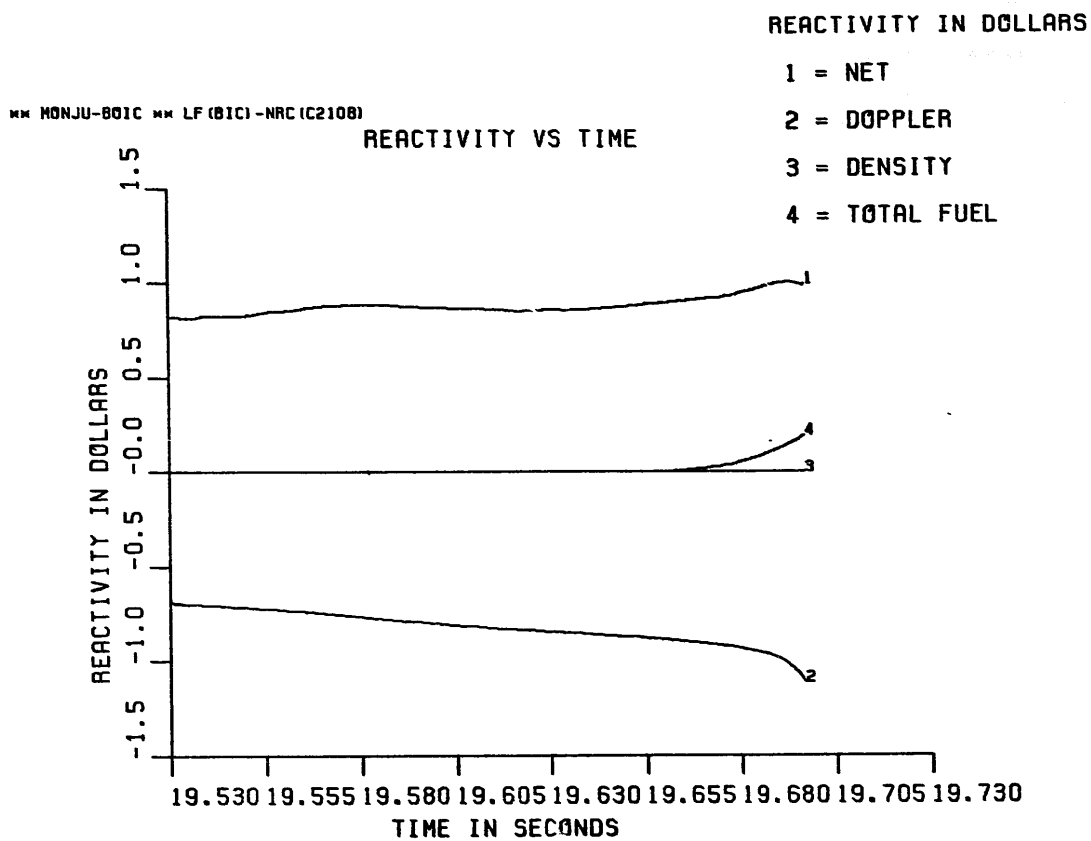
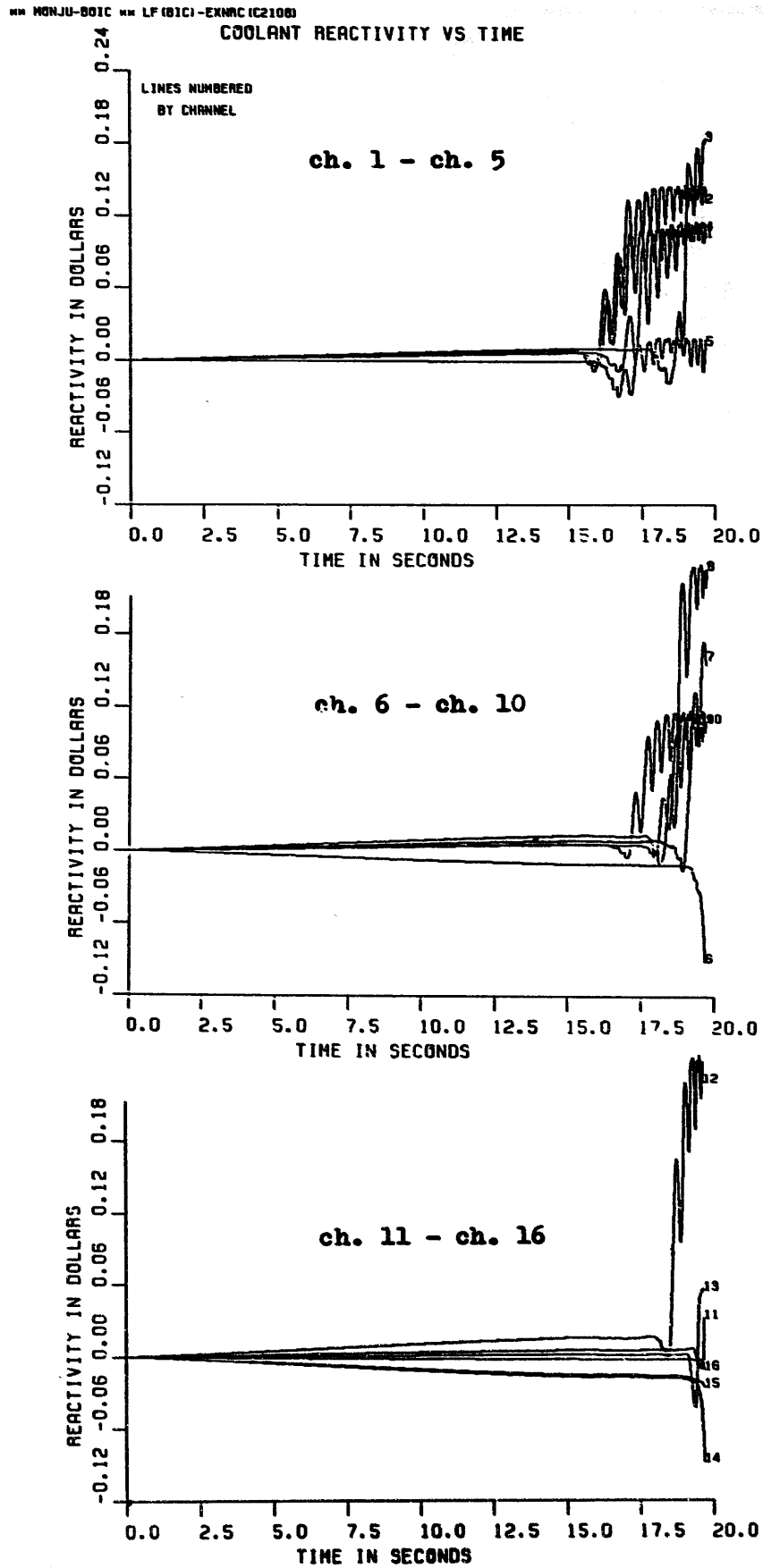


Fig.4.2-30 Component reactivity traces for BOIC LOF
Case ID : LF.EXNRC.C2108



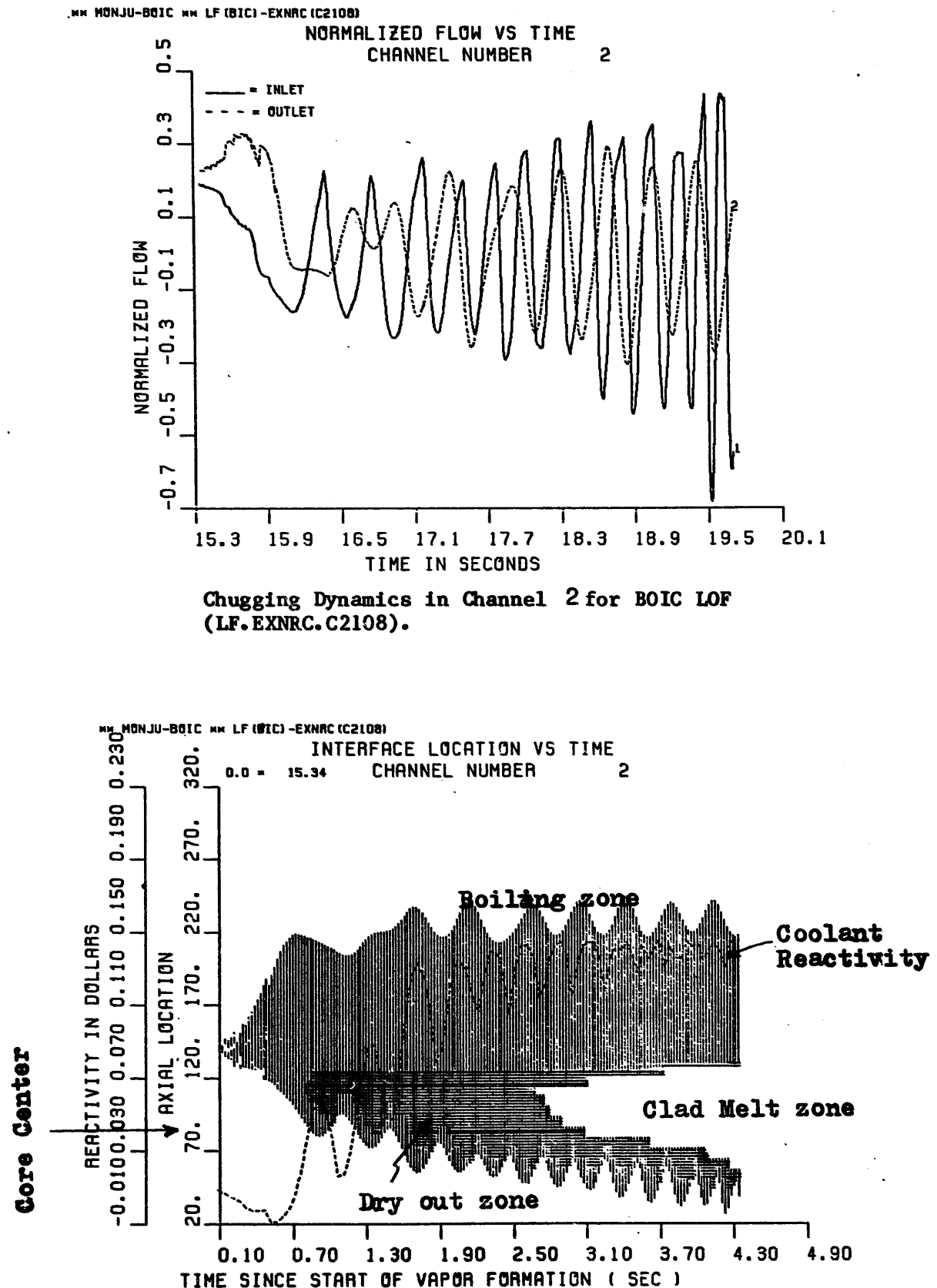


Fig.4.2-32 Normalized flow and voiding profiles in ch.2 for BOIC LOF
Case ID : LF.EXNRC.C2108

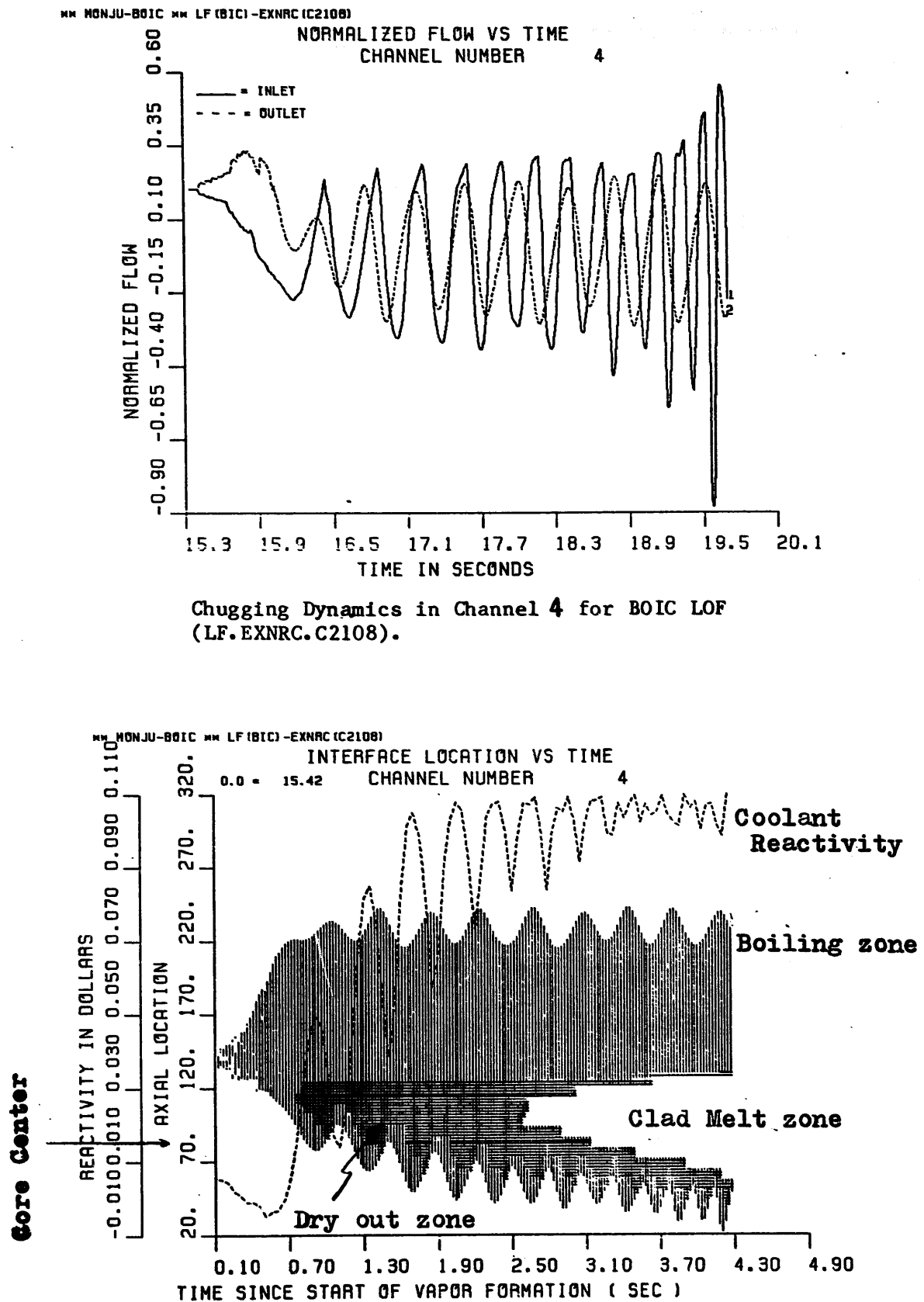


Fig.4.2-33 Normalized flow and voiding profiles in ch.4 for BOIC LOF
Case ID : LF.EXNRC.C2108

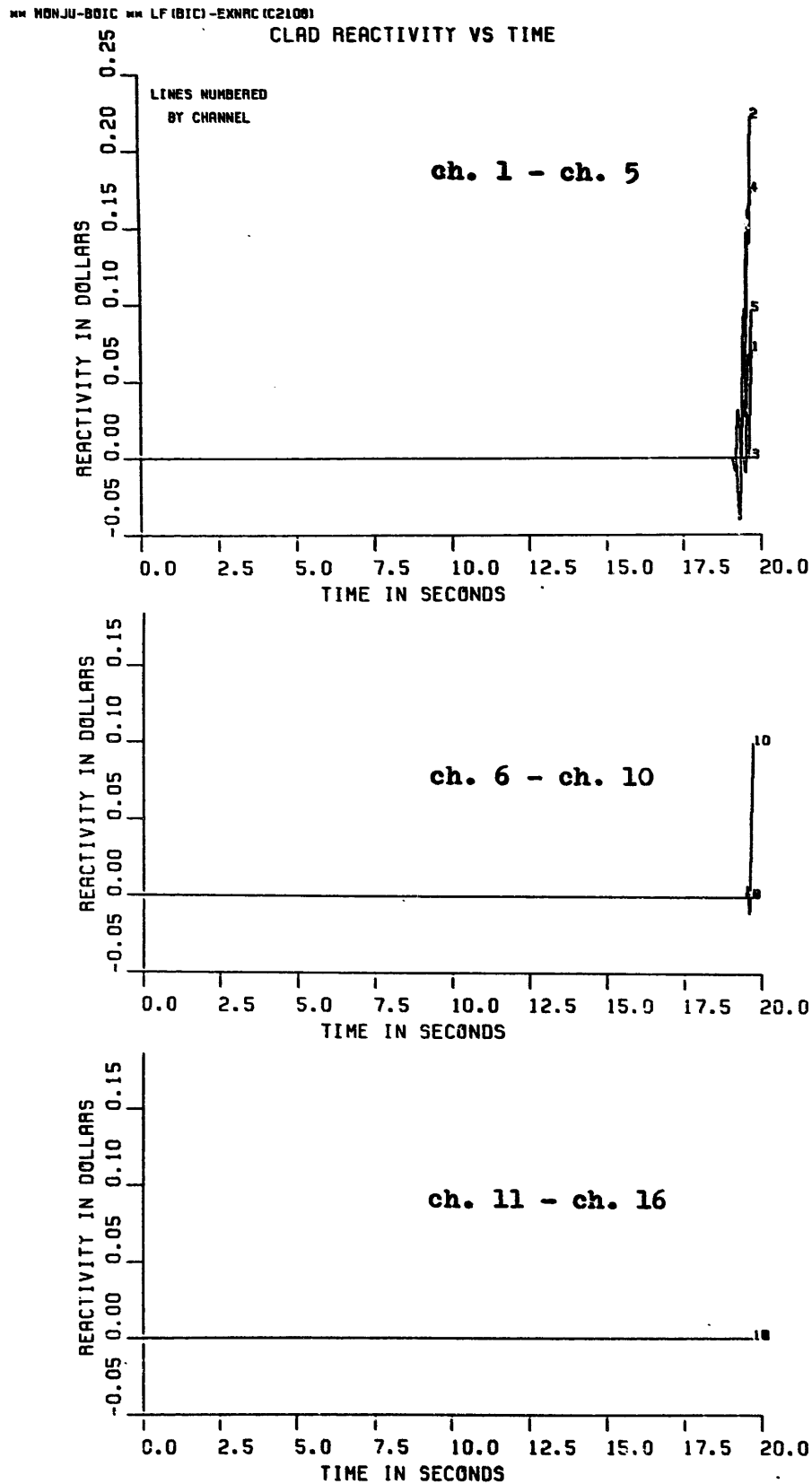


Fig.4.2-34 Cladding reactivity traces by channel for BOIC LOF
Case ID : LF.EXNRC.C2108

EXNRC (C2108) ch. 4

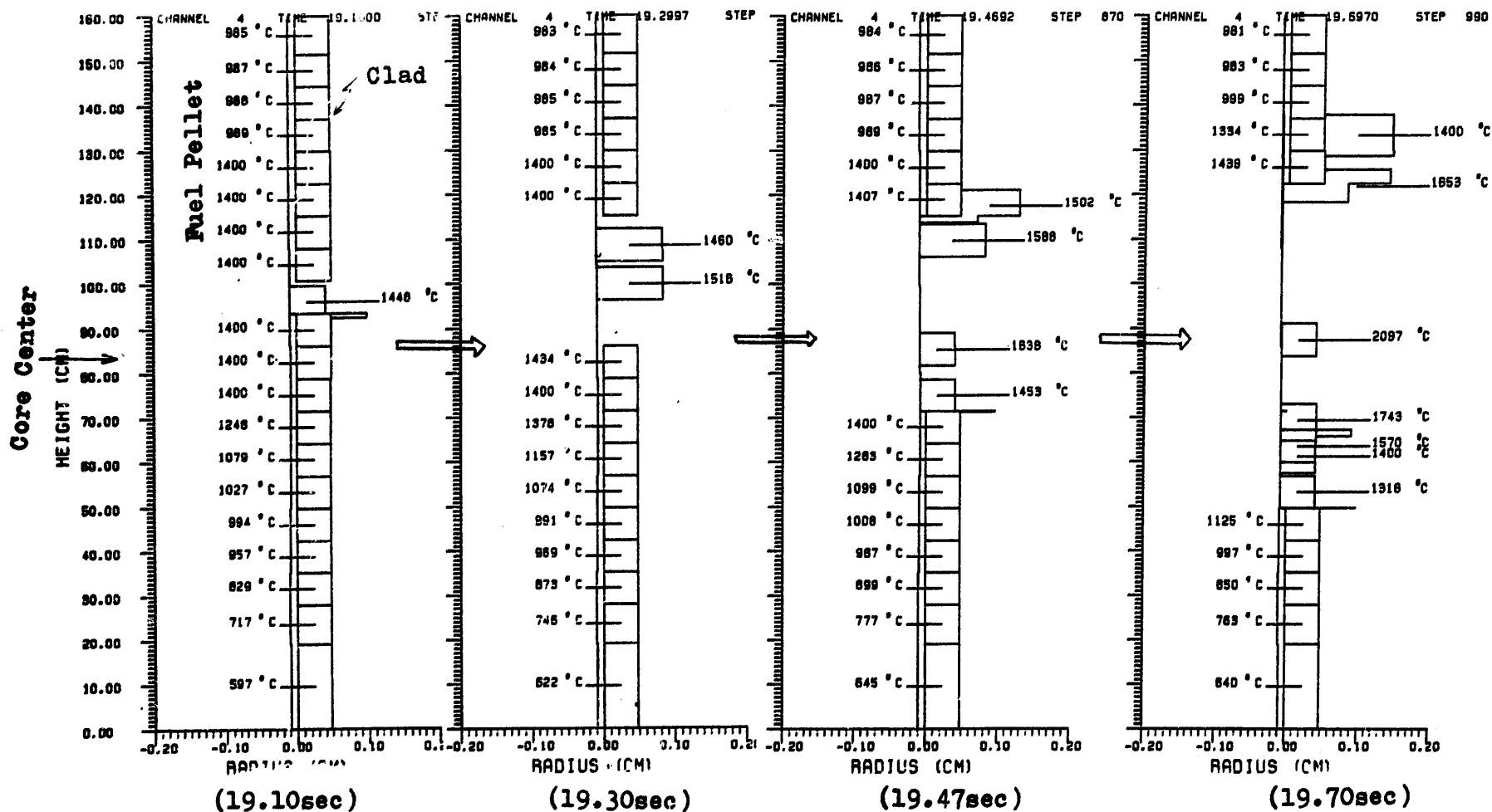


Fig.4.2-35 Cladding relocation in ch.4 for BOIC LOF. Case ID : LF.EXNRC.C2108

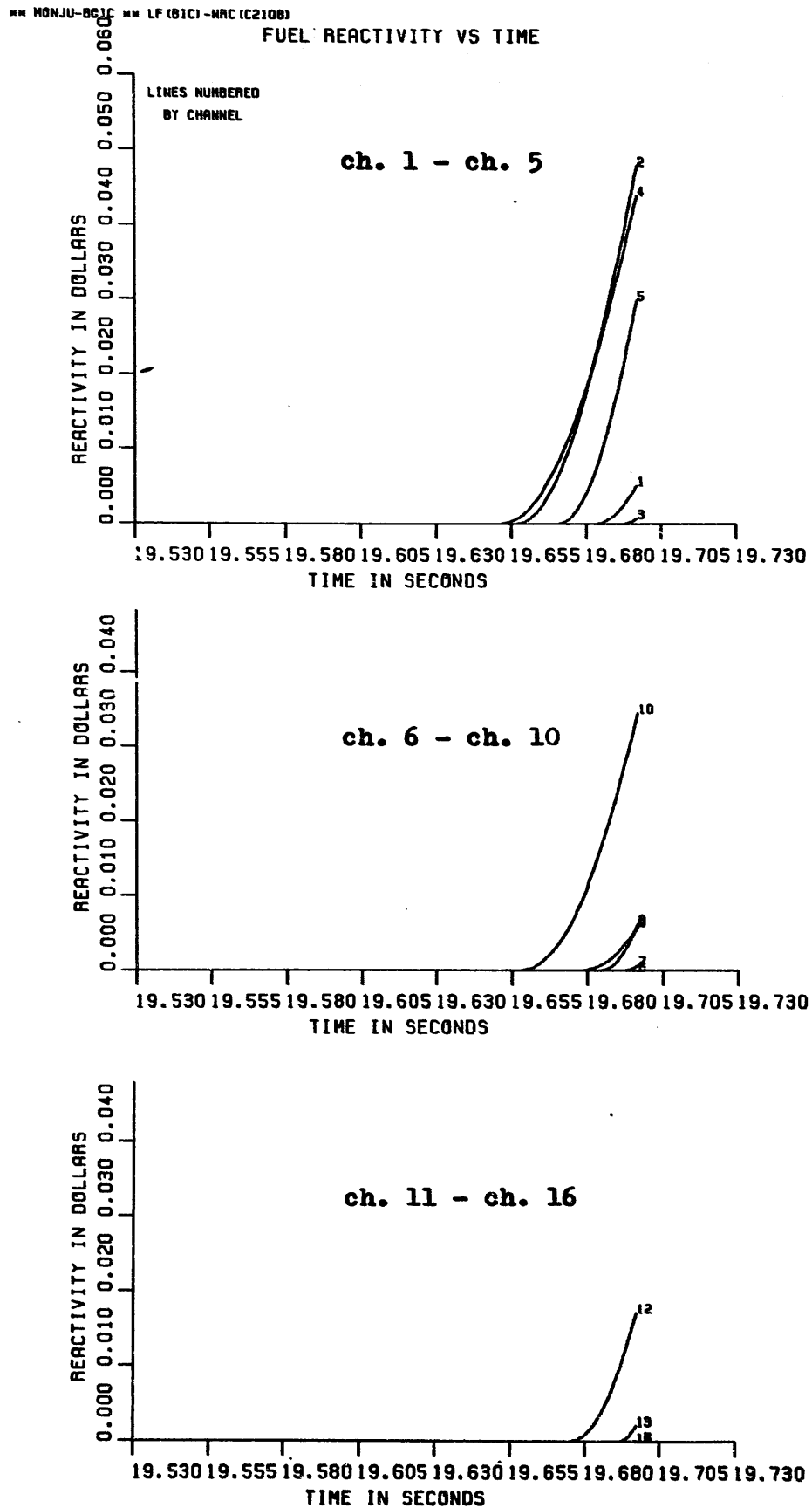


Fig.4.2-36 Fuel reactivity traces by channel for BOIC LOF
Case ID : LF.EXNRC.C2108

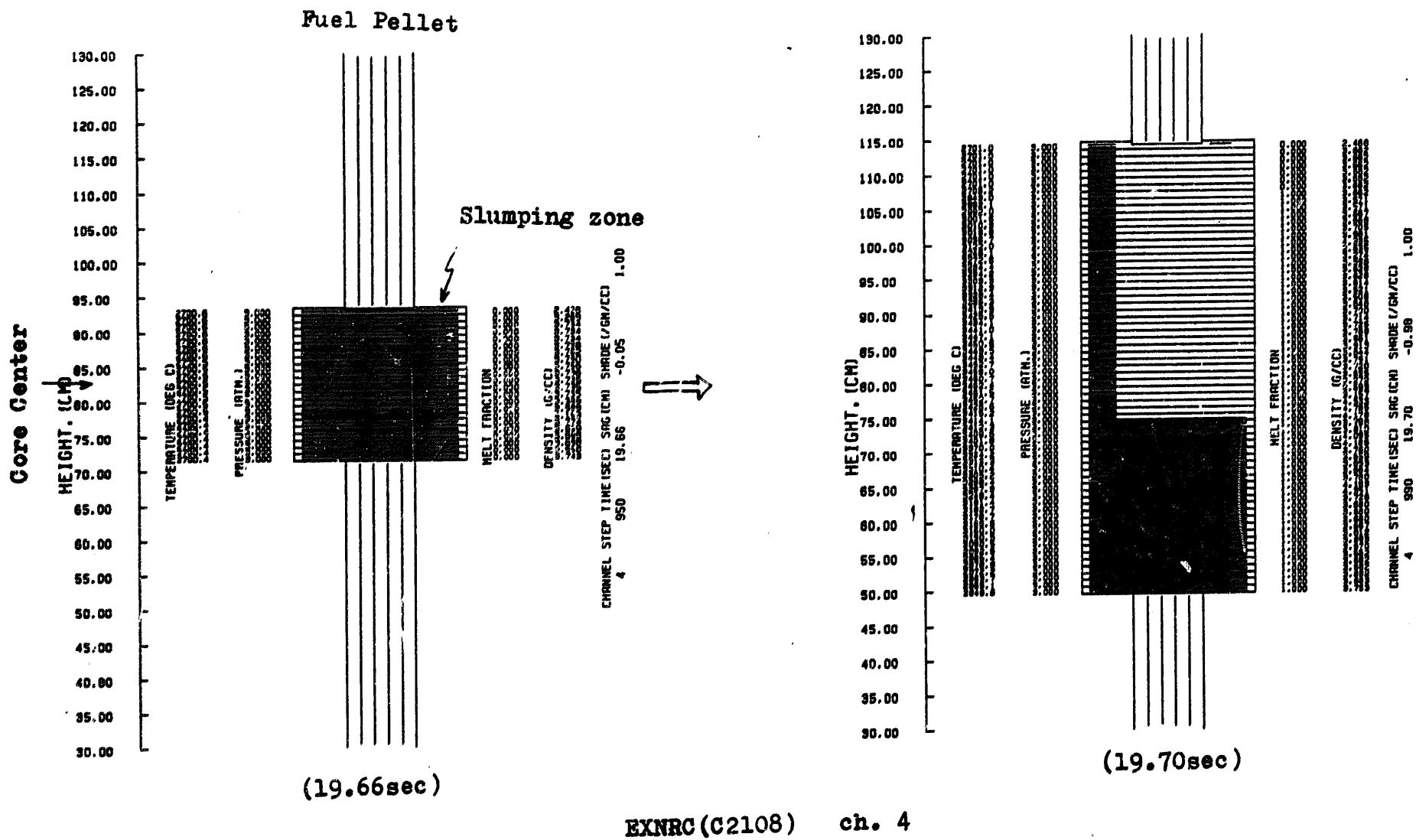


Fig.4.2-37 Fuel dispersion in ch.4 for BOIC LOF (LF.EXNRC.C2108)

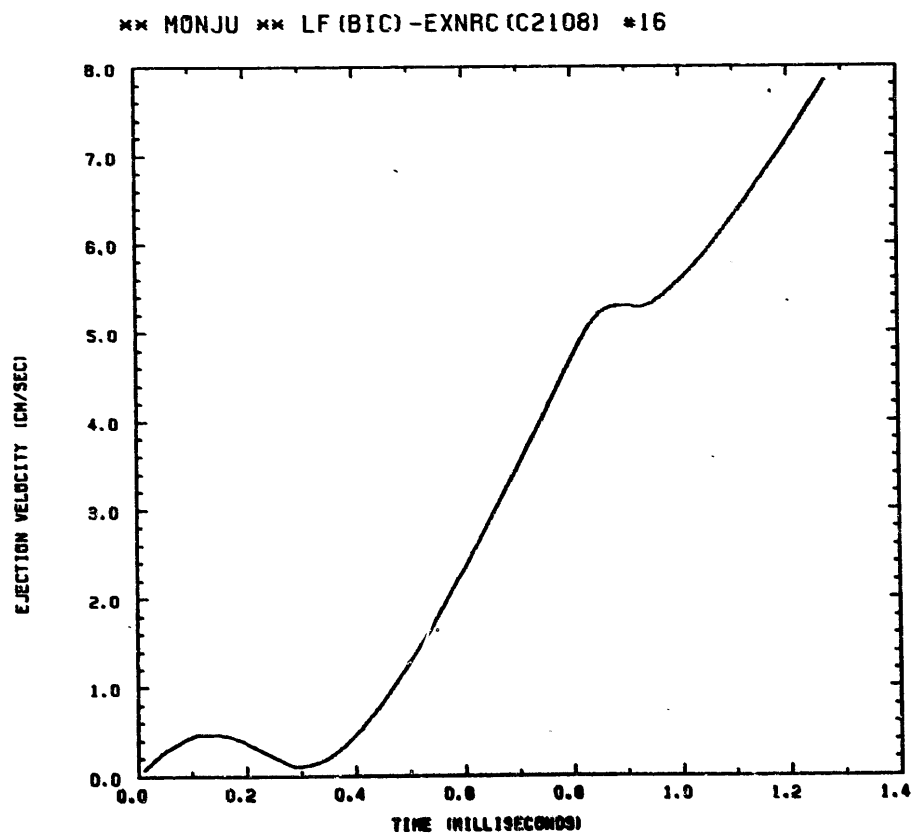
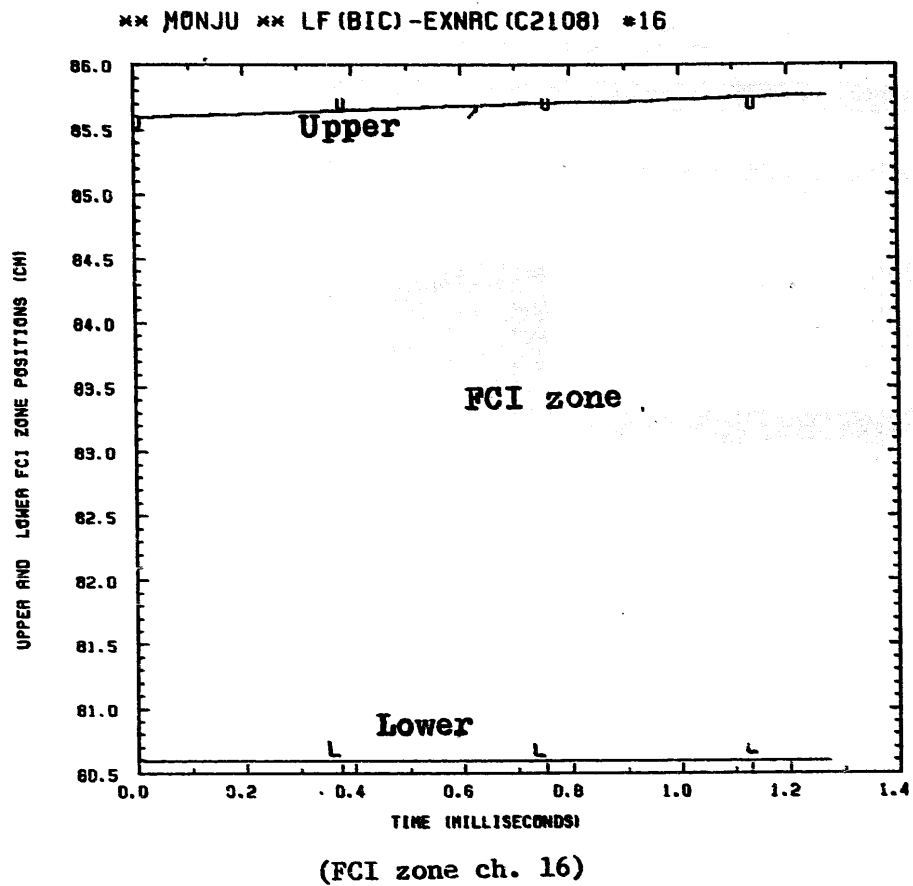


Fig.4.2-38 FCI zone growth and fuel ejection velocity in ch.16
for BOIC LOF (LF.EXNRC.C2108)

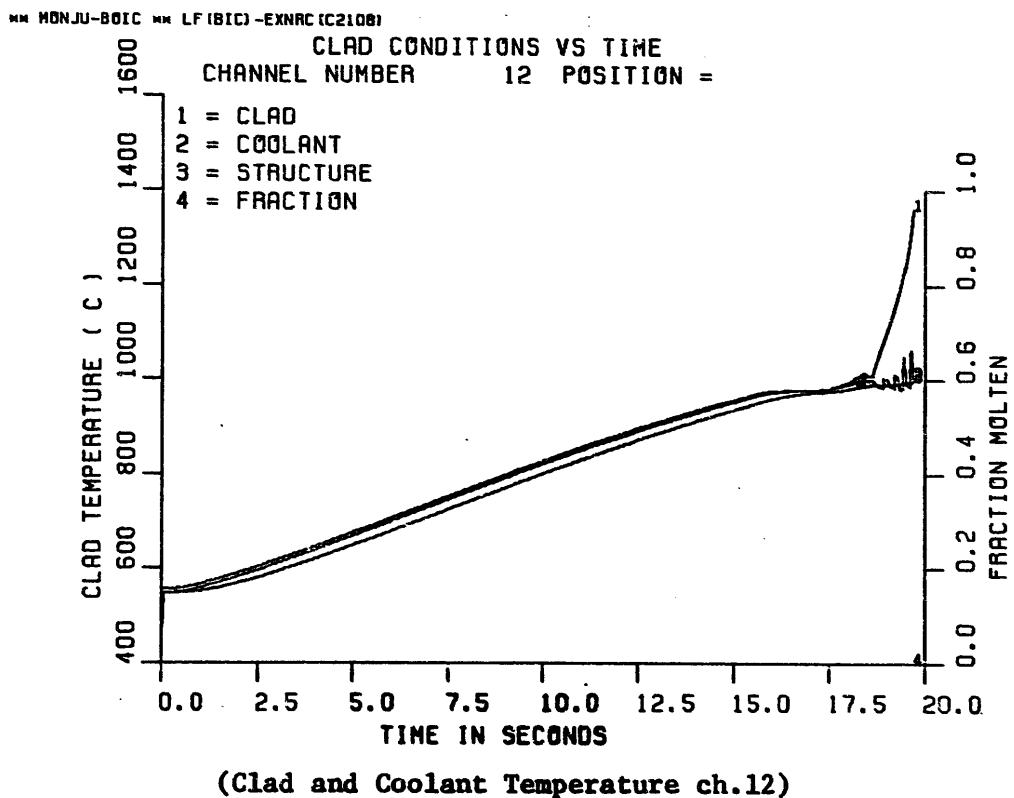
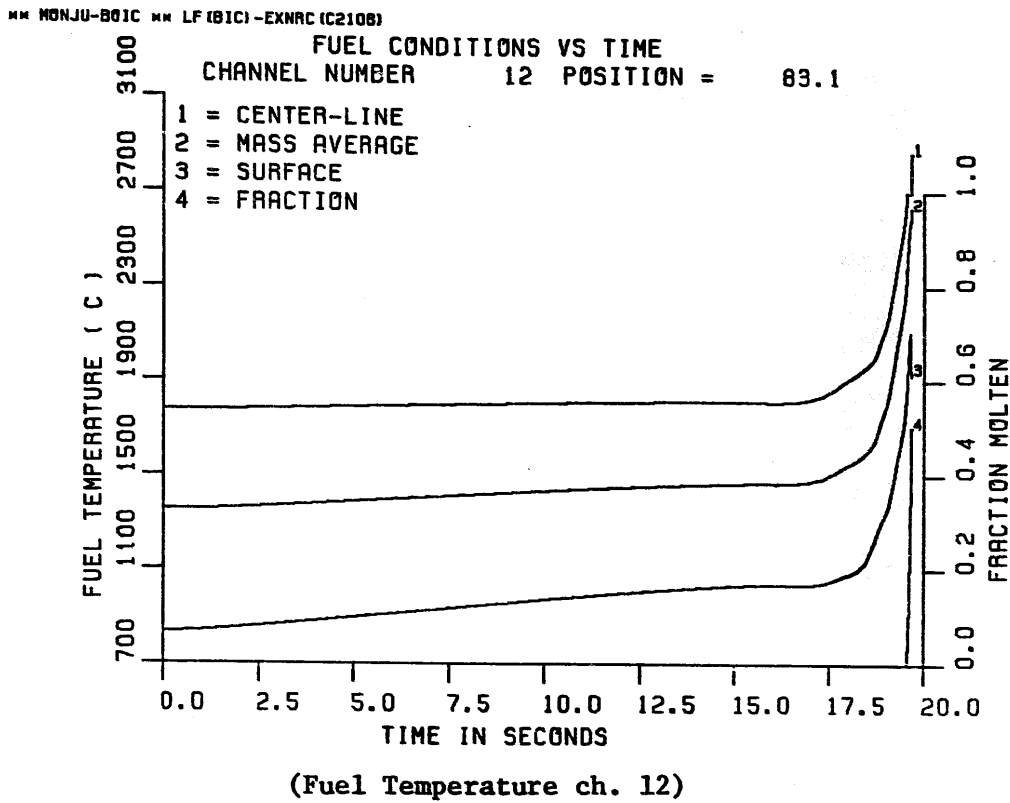
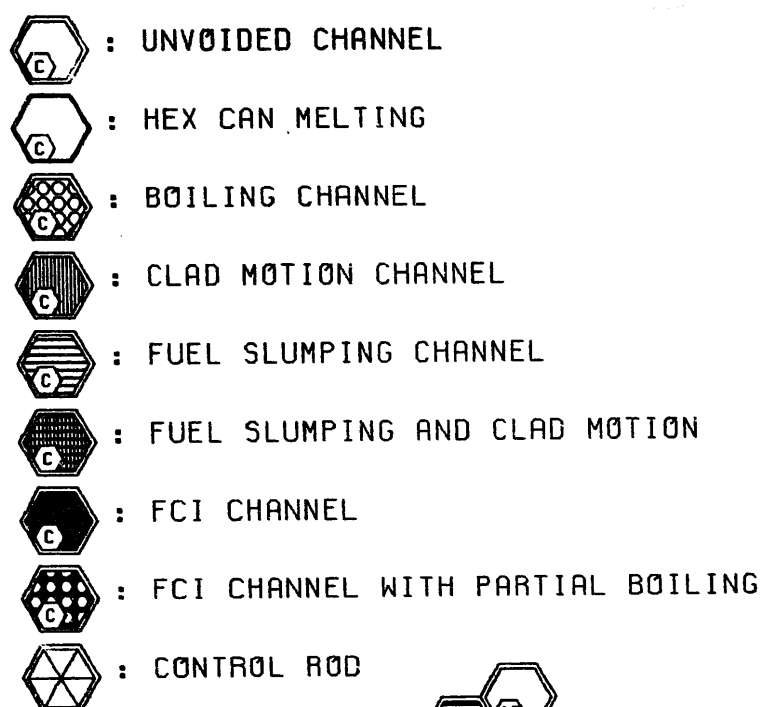
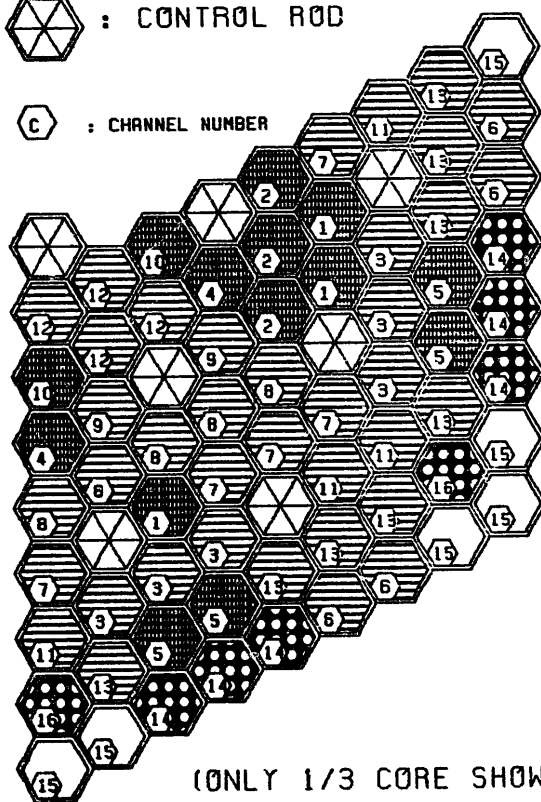


Fig.4.2-39 Fuel and cladding temperature histories for BOIC LOF
Case ID : LF.EXNRC.C2108



: CHANNEL NUMBER



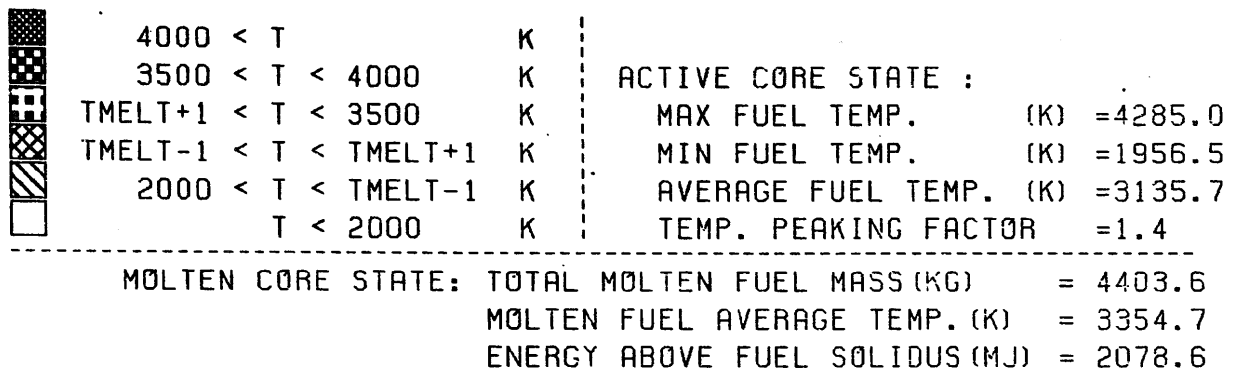
(ONLY 1/3 CORE SHOWN)

LOF (BIC) -C2108

TIME =19.70453 (SEC) , STEP =1001

NET REACTIVITY =0.97894 (DOLLARS)

Fig.4.2-40 Core state at the end of initiating phase for BOIC LOF
Case ID : LF.EXNRC.C2108



LF (BIC) -EXNRC.C2108.STP1000

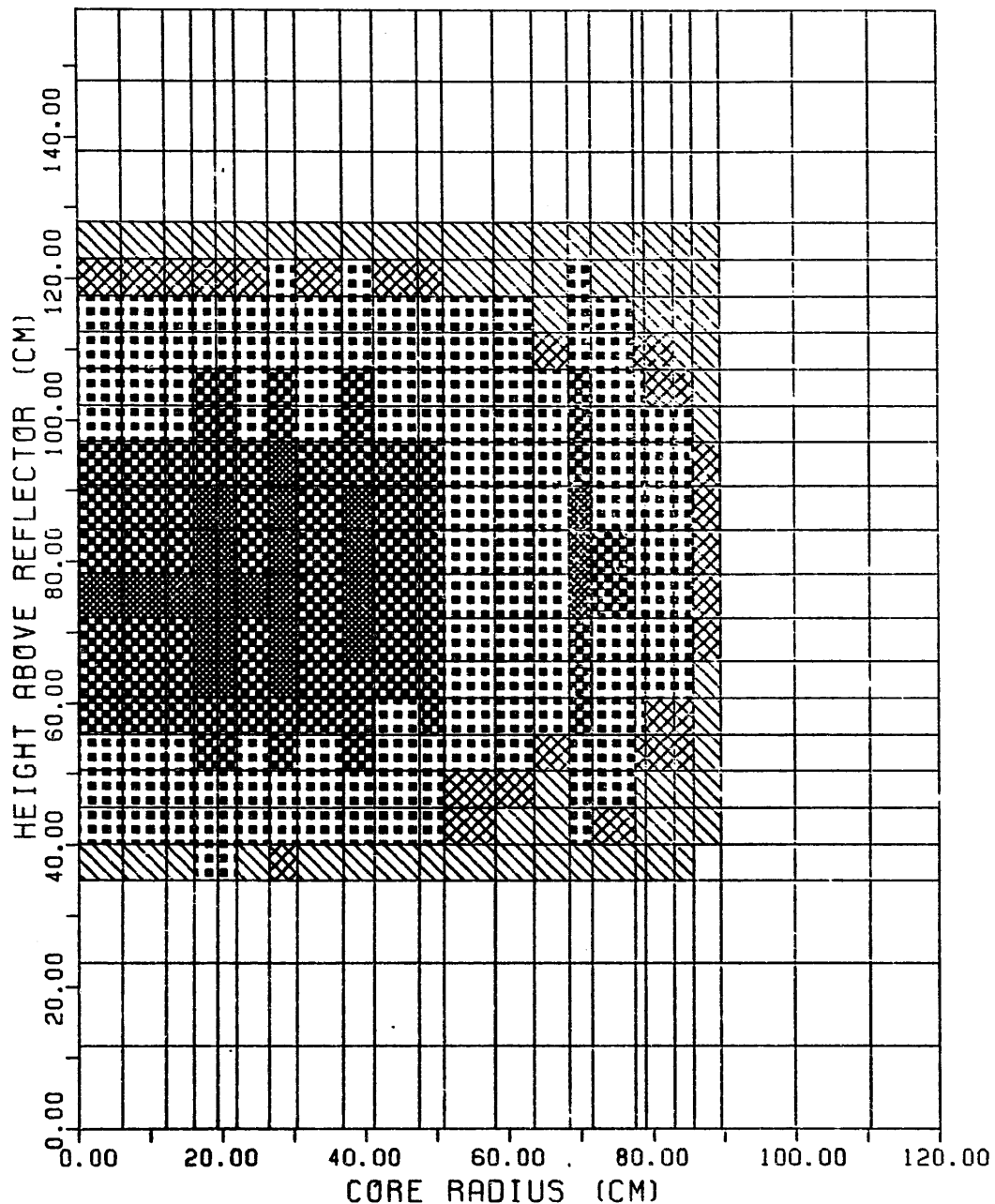
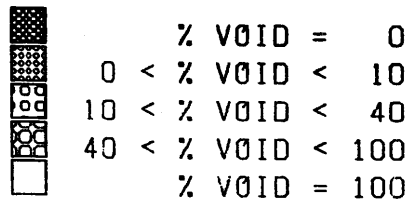


Fig.4.2-41 Fuel temperature distribution at the end of initiating phase for BOILC LOF. Case ID : LF.EXNRC.C2108



LF (BIC) -EXNRC.C2108.STP1000

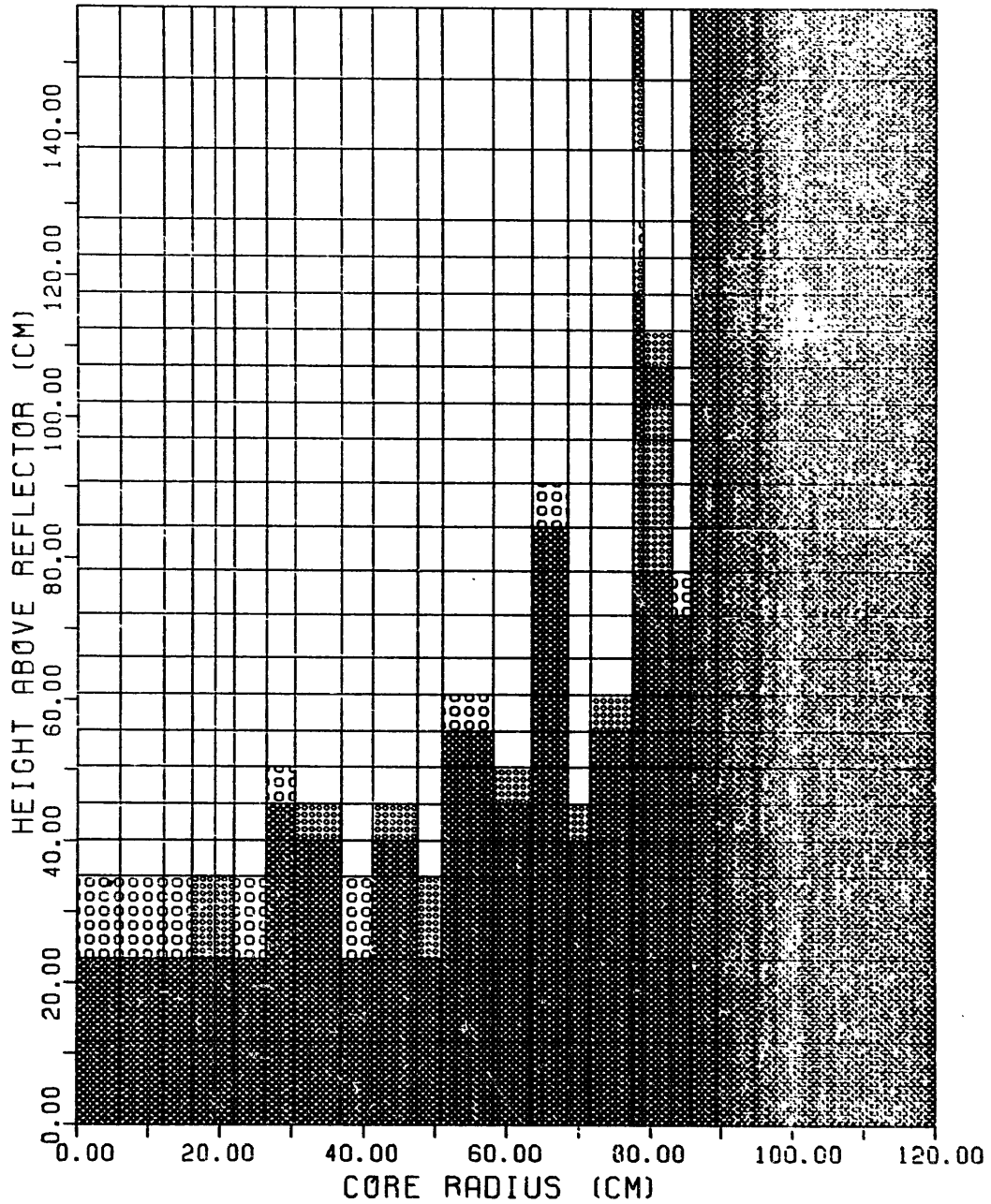
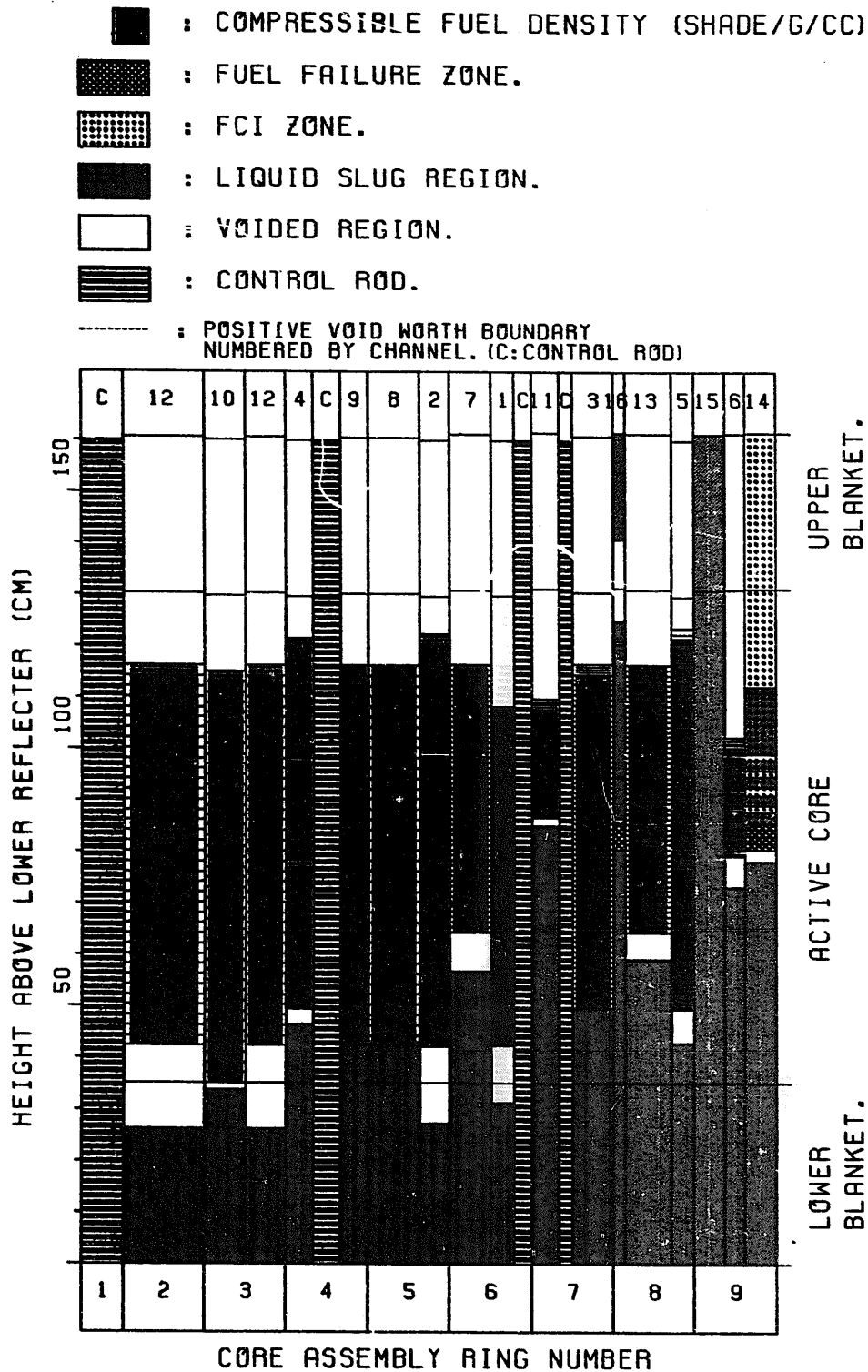


Fig.4.2-42 Coolant void distribution at the end of initiating phase for BOIC LOF. Case ID : LF.EXNRC.C2108



LOF (BIC) -C2108

TIME =19.70453 (SEC) , STEP =1001

NET REACTIVITY =0.97894 (DOLLARS)

Fig.4.2-43 Fuel density distributions at the end of initiating phase for LF.EXNRC.C2108

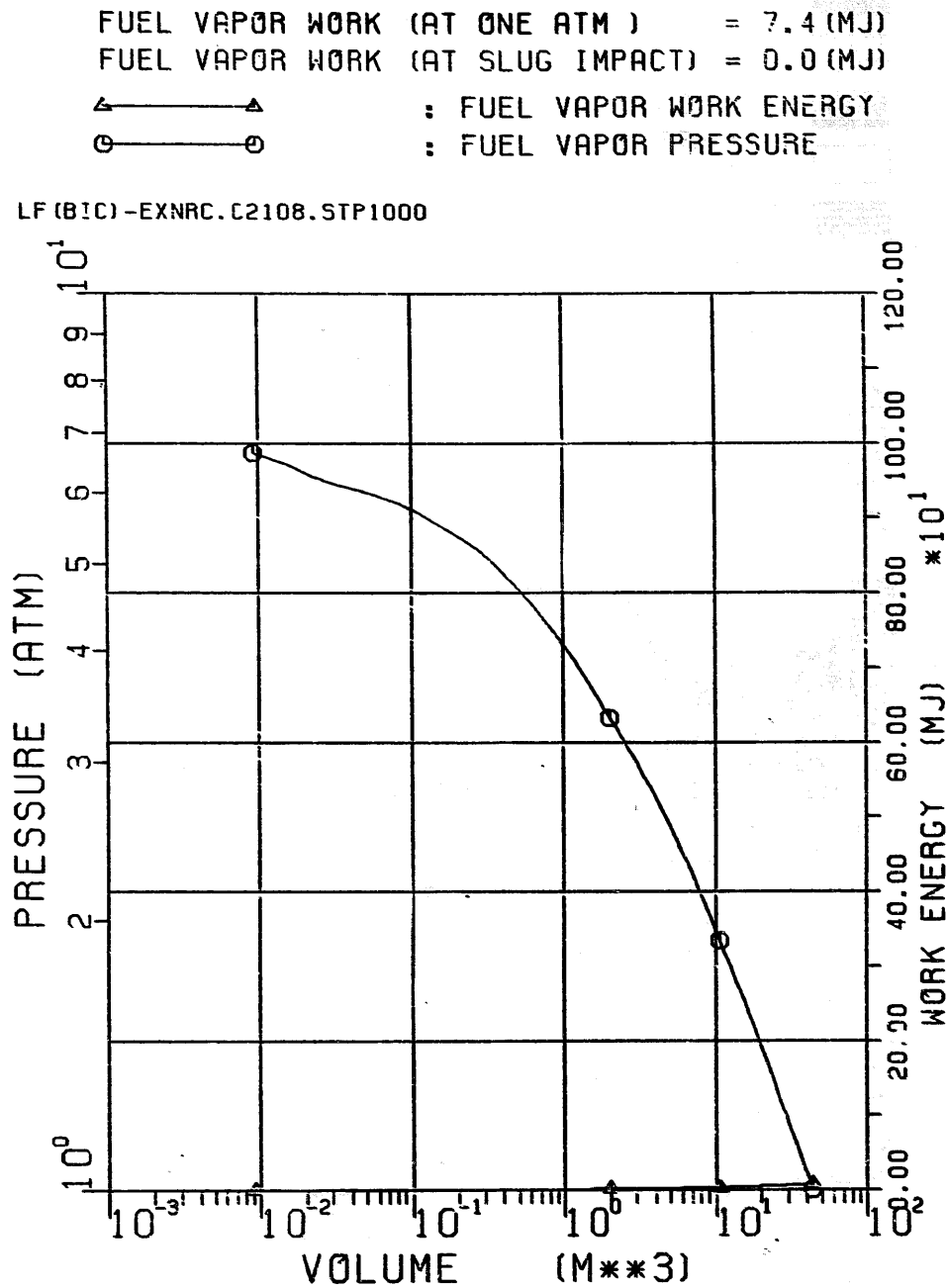


Fig.4.2-44 P-V curve and corresponding fuel vapor expansion work for the two phase fuel generated up to the end of initiating phase.
 Case ID : LF.EXNRC.C2108

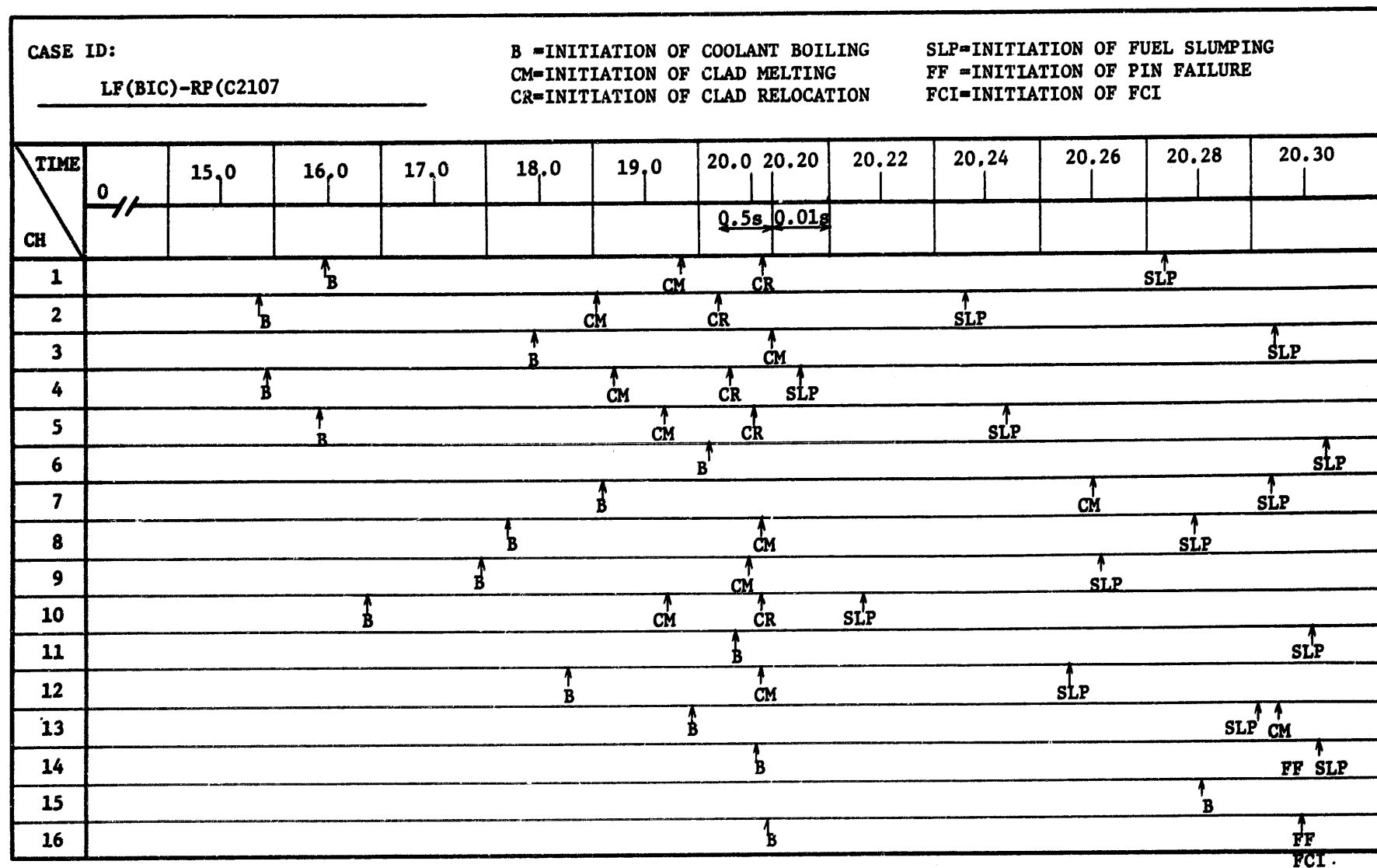


Fig. 4.2-45 Timing of events for BOIC LOF (LF.RP.C2107)

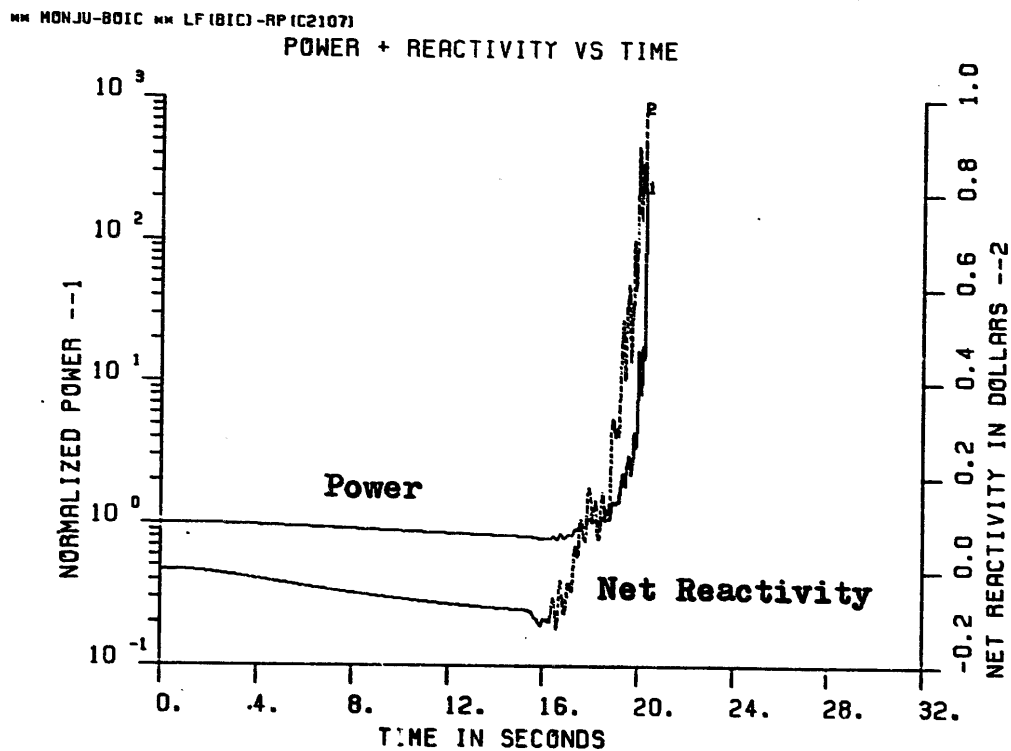
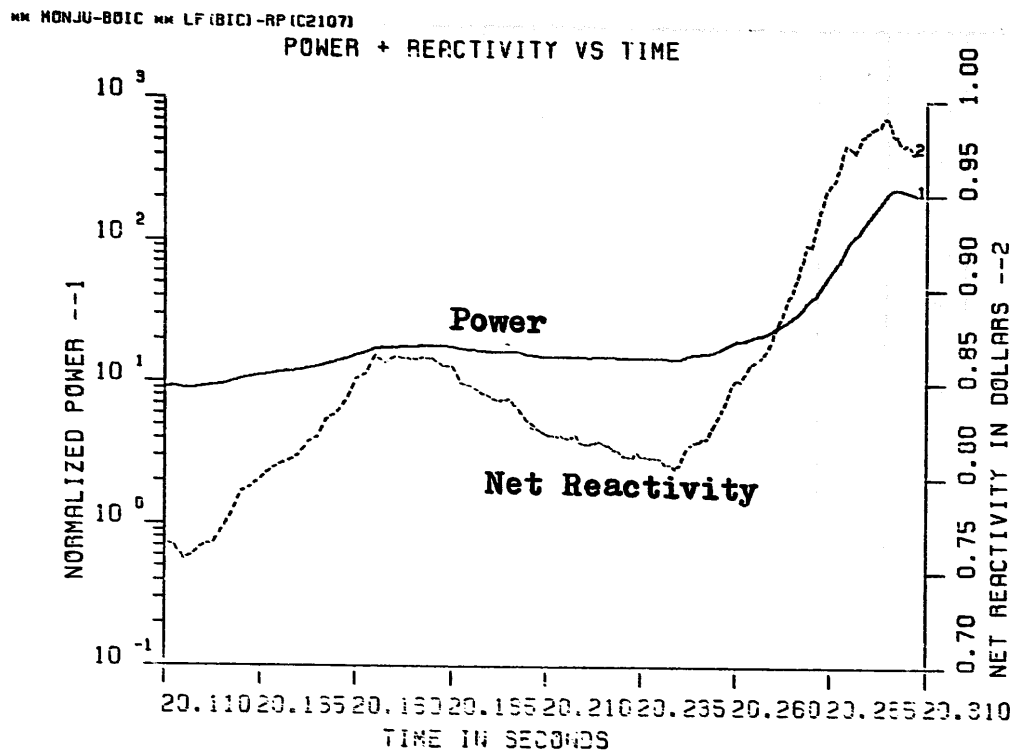


Fig.4.2-46 Power and net reactivity profiles for BOIC LOF
Case ID : LF.RP.C2107

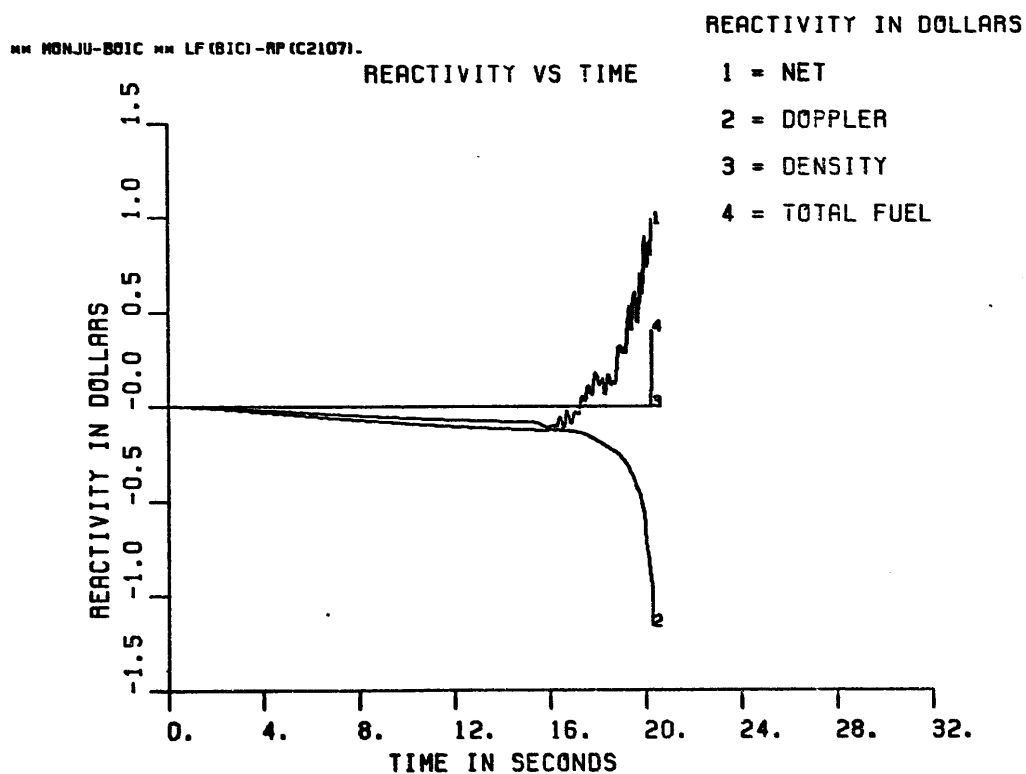
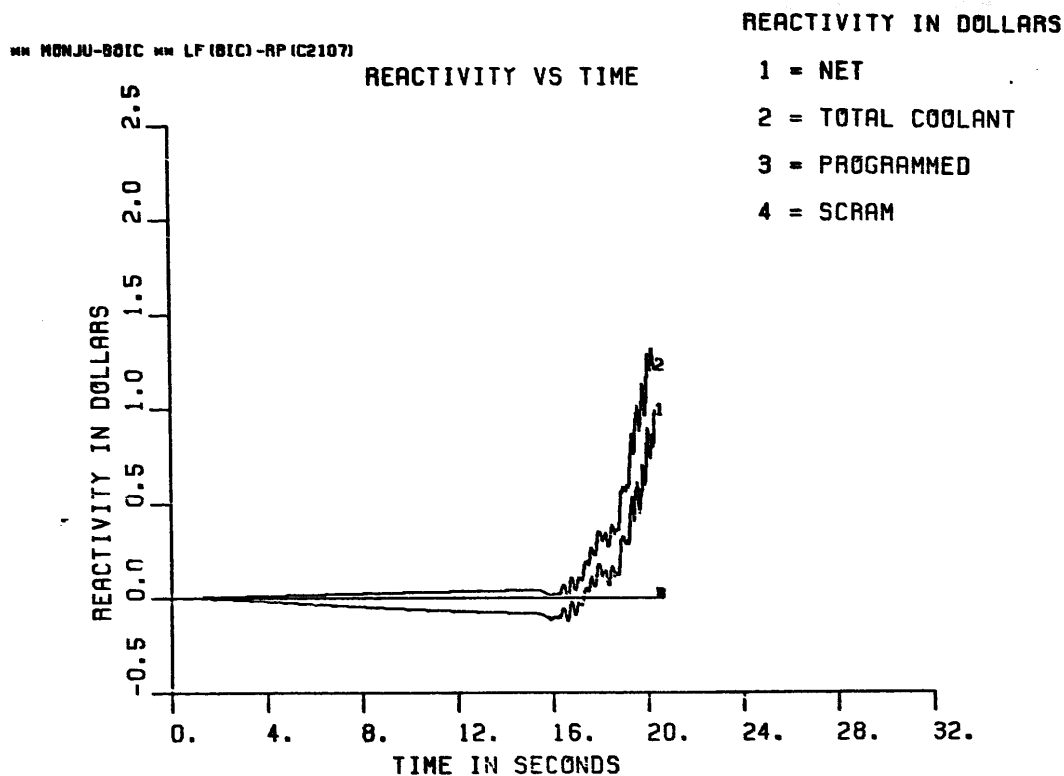


Fig.4.2-47 Component reactivity traces for BOIC LOF
Case ID : LF.RP.C2107

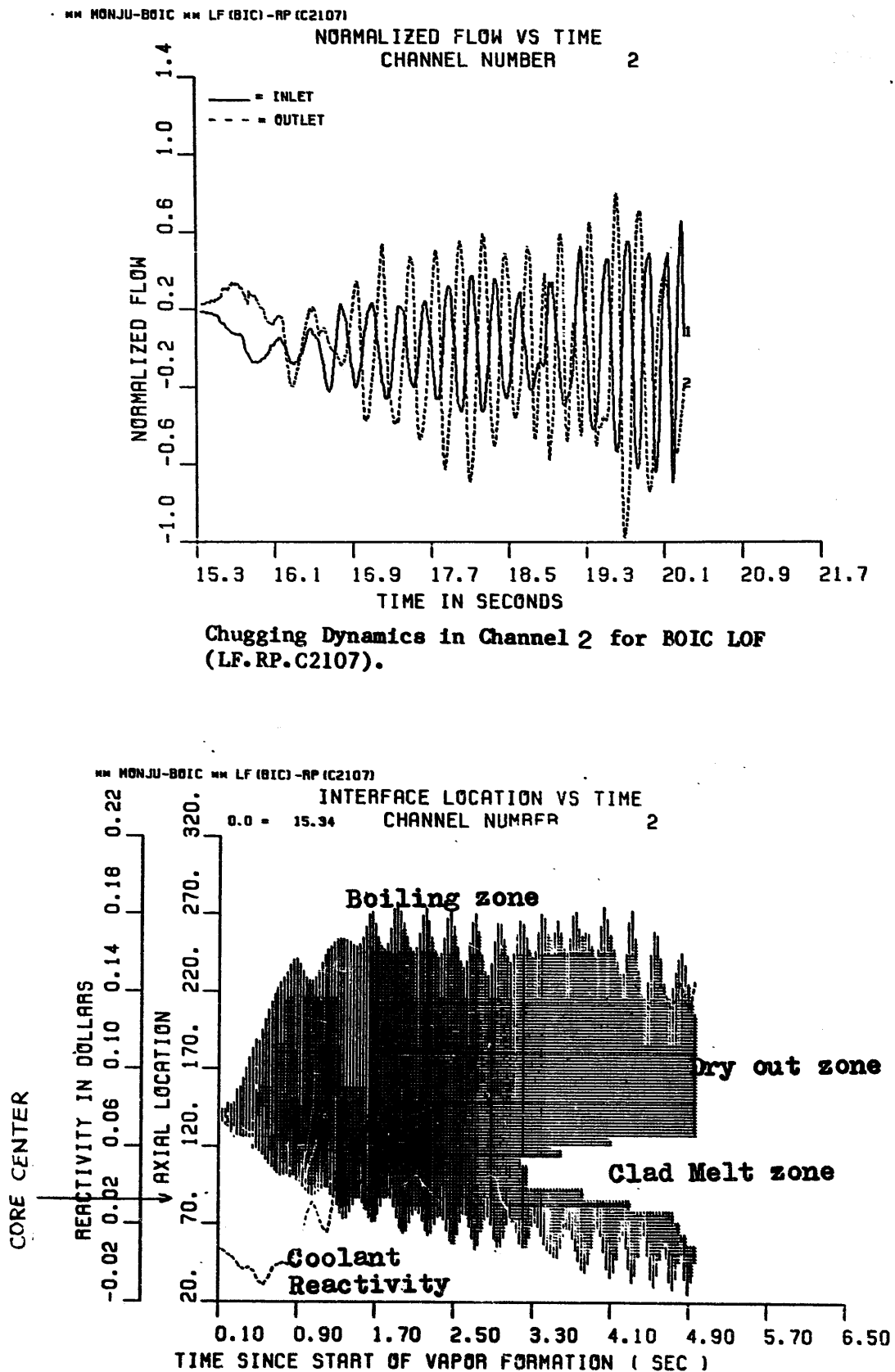


Fig.4.2-48 Normalized flow and voiding profiles in ch.2 for BOIC LOF
Case ID : LF.RP.C2107

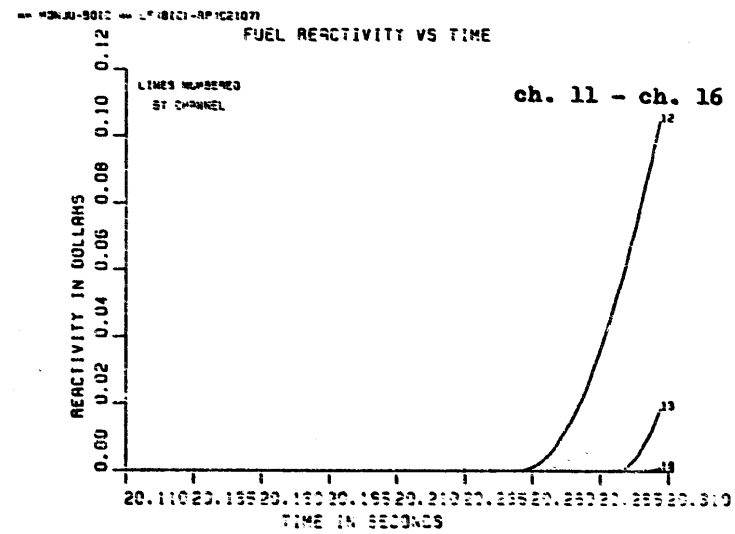
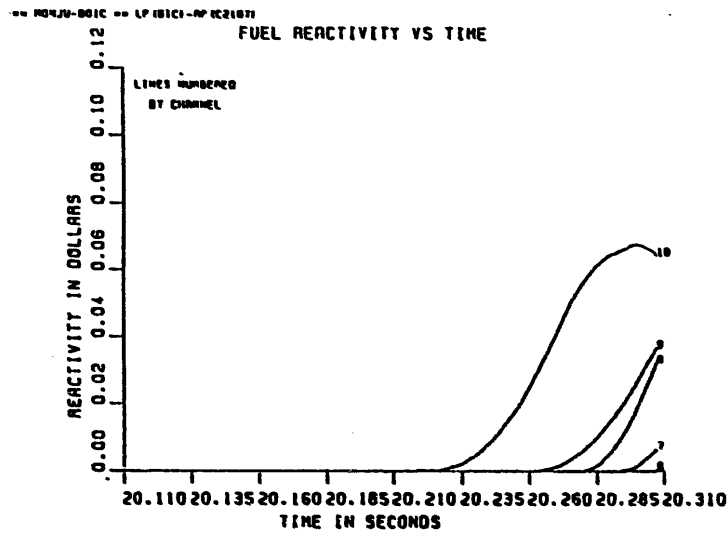
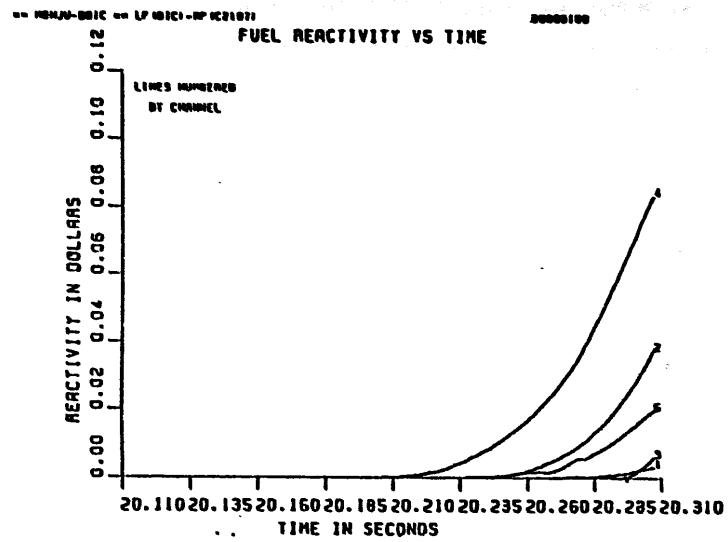


Fig.4.2-49 Fuel reactivity traces by channel for BOIC LOF
Case ID : LF.RP.C2107

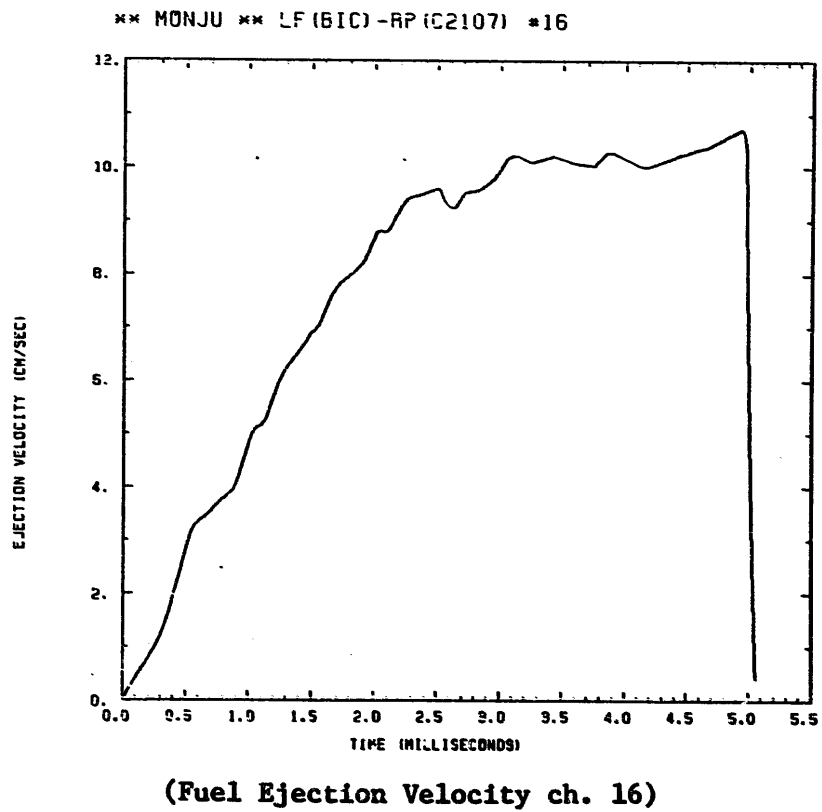
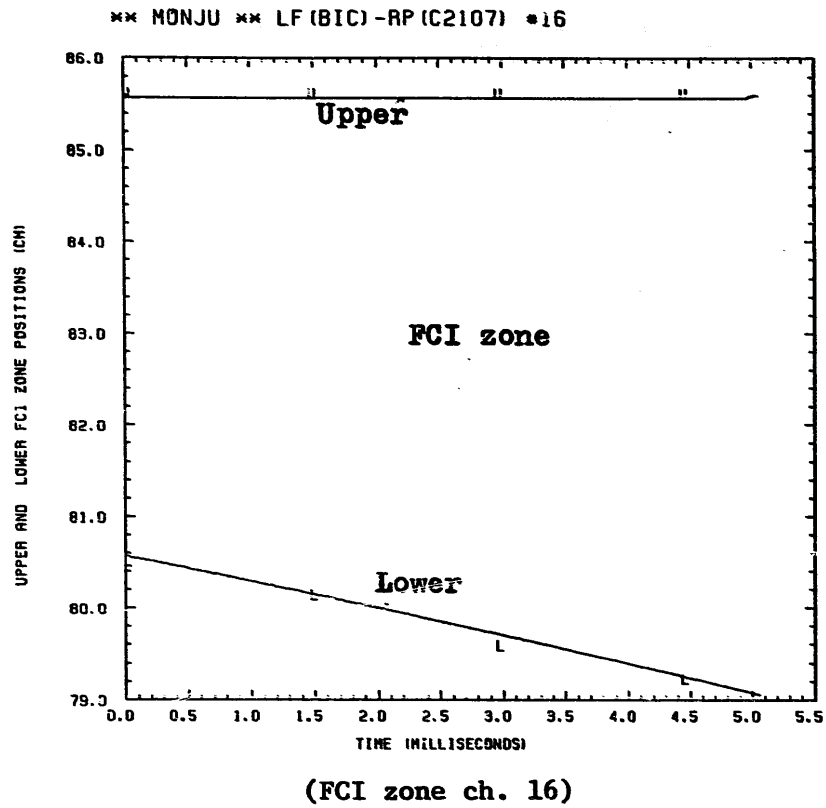
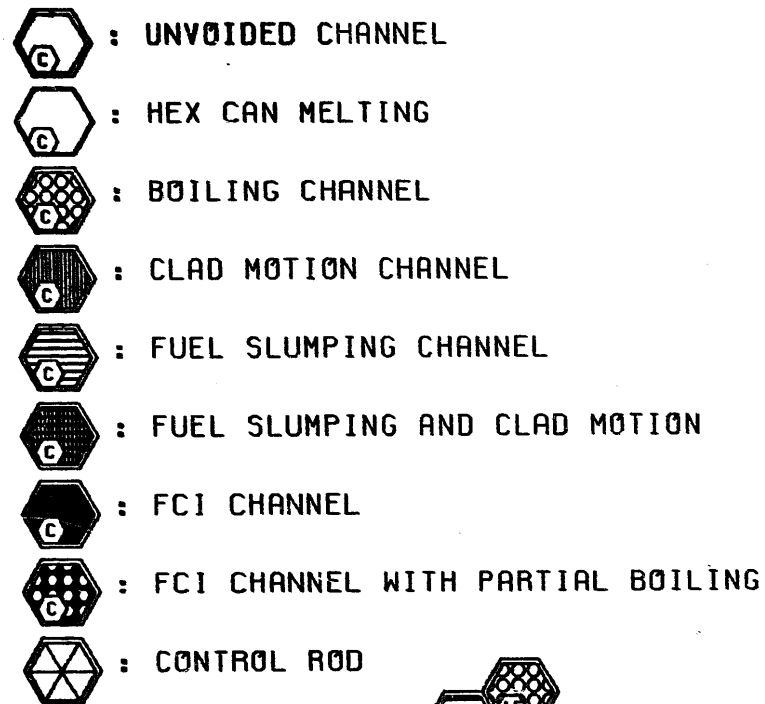
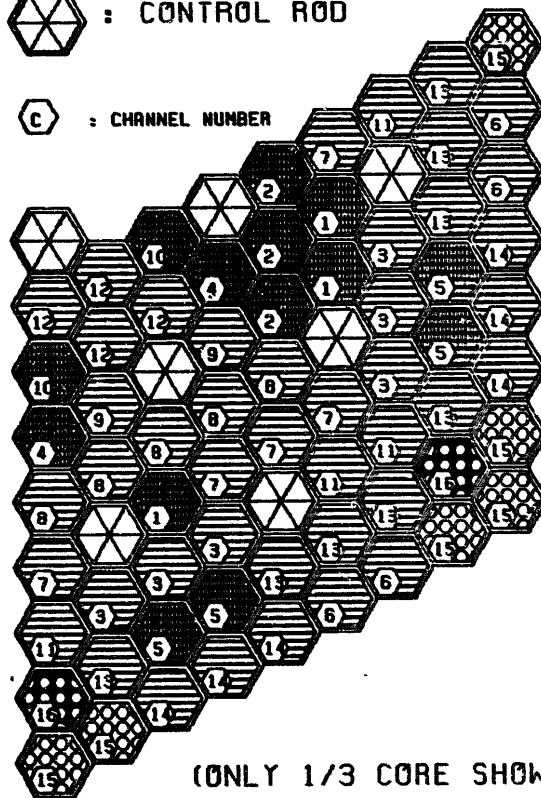


Fig.4.2-50 FCI zone growth and fuel ejection velocity in ch.16 for BOIC LOF (LF.RP.C2107)



 : CHANNEL NUMBER



(ONLY 1/3 CORE SHOWN)

LOF (BIC) - C2107

TIME = 20.30403 (SEC) , STEP = 1126

NET REACTIVITY = 0.97599 (DOLLARS)

Fig.4.2-51 Core state at T=20.30 sec for BOIC LOF
Case ID : LF.RP.C2107

	4000 < T	K	ACTIVE CORE STATE :		
	3500 < T < 4000	K		MAX FUEL TEMP. (K)	=3817.1
	TMELT+1 < T < 3500	K		MIN FUEL TEMP. (K)	=1787.7
	TMELT-1 < T < TMELT+1	K		AVERAGE FUEL TEMP. (K)	=2917.4
	2000 < T < TMELT-1	K		TEMP. PEAKING FACTOR	=1.3
	T < 2000	K			

MOLTEN CORE STATE: TOTAL MOLTEN FUEL MASS (KG)	= 3279.1
MOLTEN FUEL AVERAGE TEMP. (K)	= 3160.7
ENERGY ABOVE FUEL SOLIDUS (MJ)	= 1227.8

LF (BIC) -RP.C2107.STP1125

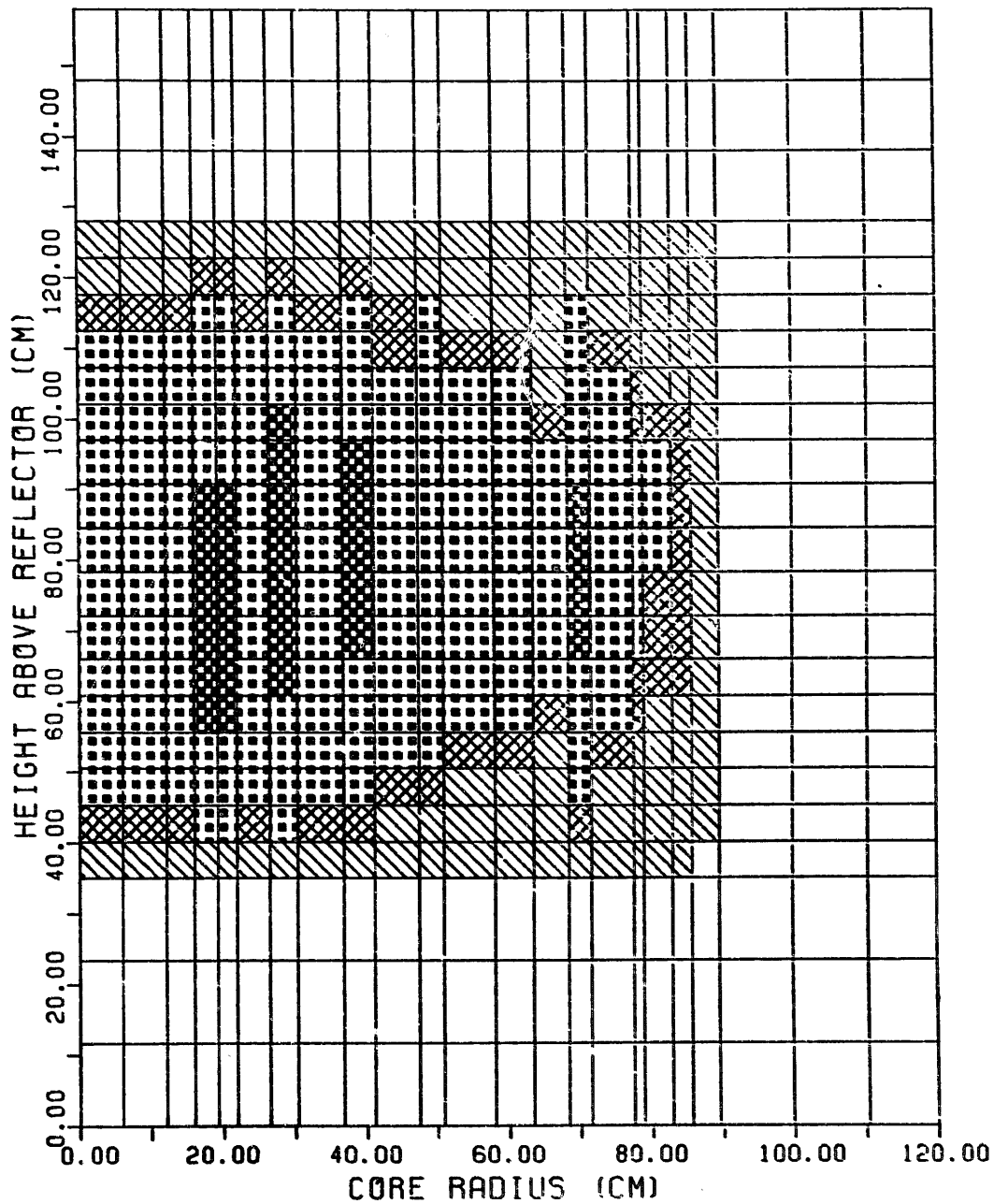
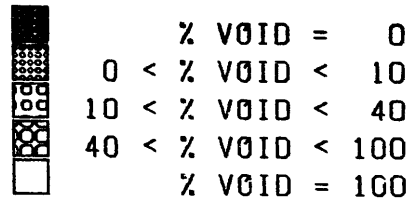


Fig.4.2-52 Fuel temperature distribution at T=20.30 sec for BOIC LOF
Case ID : LF.RP.C2107



LF (BIC) -RP.C2107.STP1125

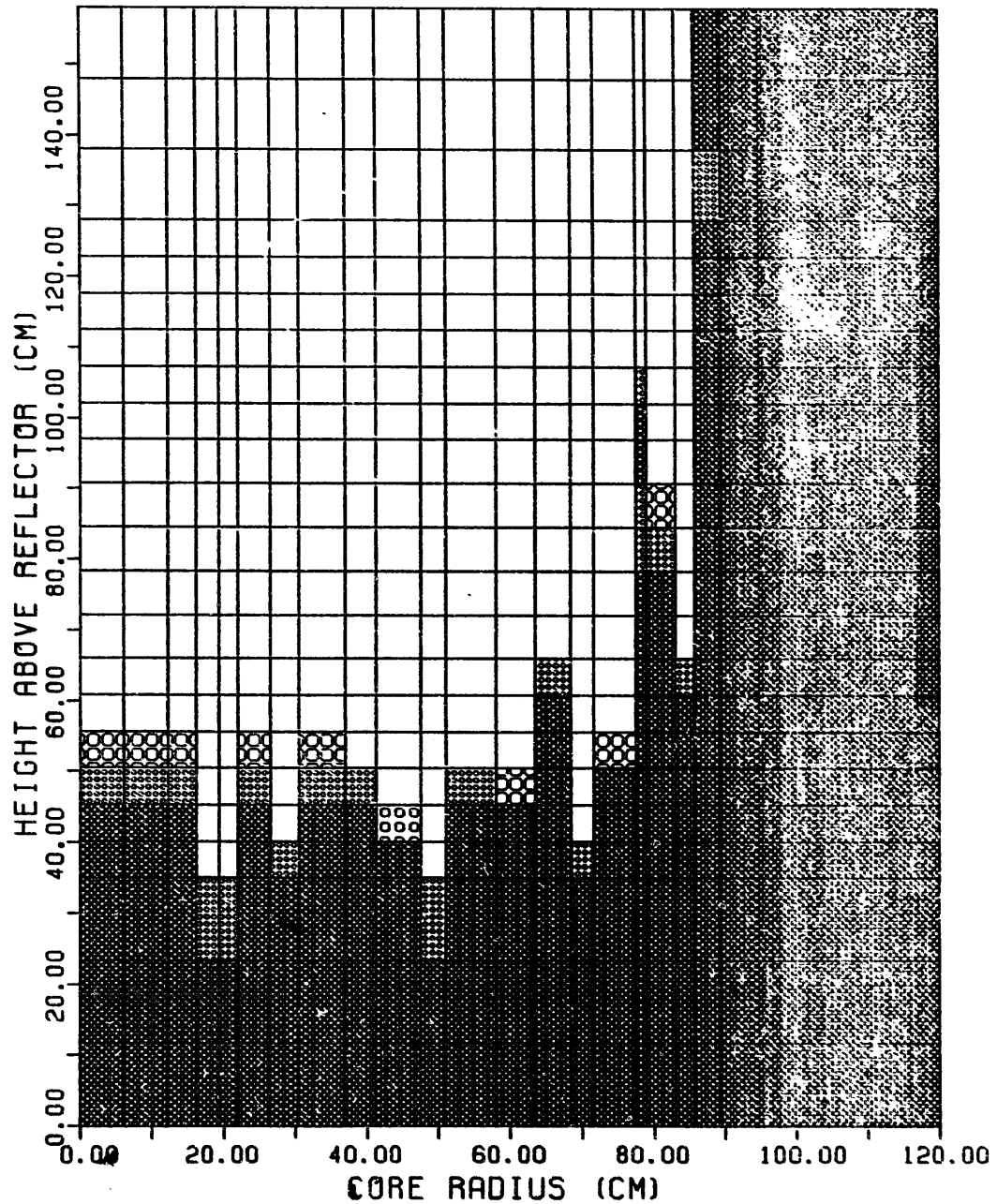
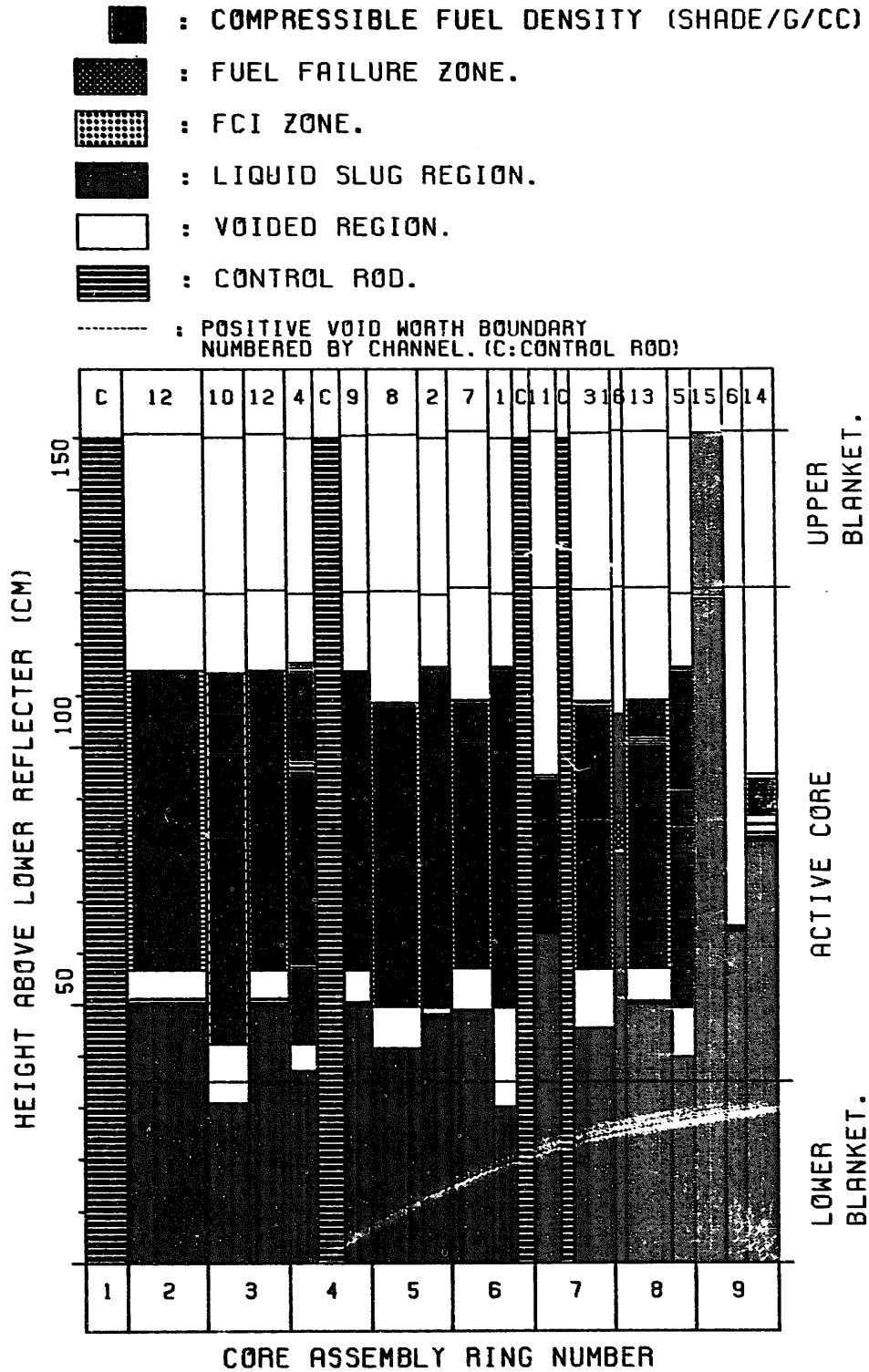


Fig.4.2-53 Coolant void distribution at T=20.30 sec for BOIC LOF
Case ID : LF.RP.C2107



LOF (BIC) -C2107

TIME =20.30403 (SEC) , STEP =1126

NET REACTIVITY =0.97599 (DOLLARS)

Fig.4.2-54 Fuel density distributions at T=20.30 sec for LF.RP.C2107

FUEL VAPOR WORK (AT ONE ATM) = 0.0 (MJ)
 FUEL VAPOR WORK (AT SLUG IMPACT) = 0.0 (MJ)
 ▲ ————— ▲ : FUEL VAPOR WORK ENERGY
 ○ ————— ○ : FUEL VAPOR PRESSURE

LF (BIC) -RP.C2107.STP1125

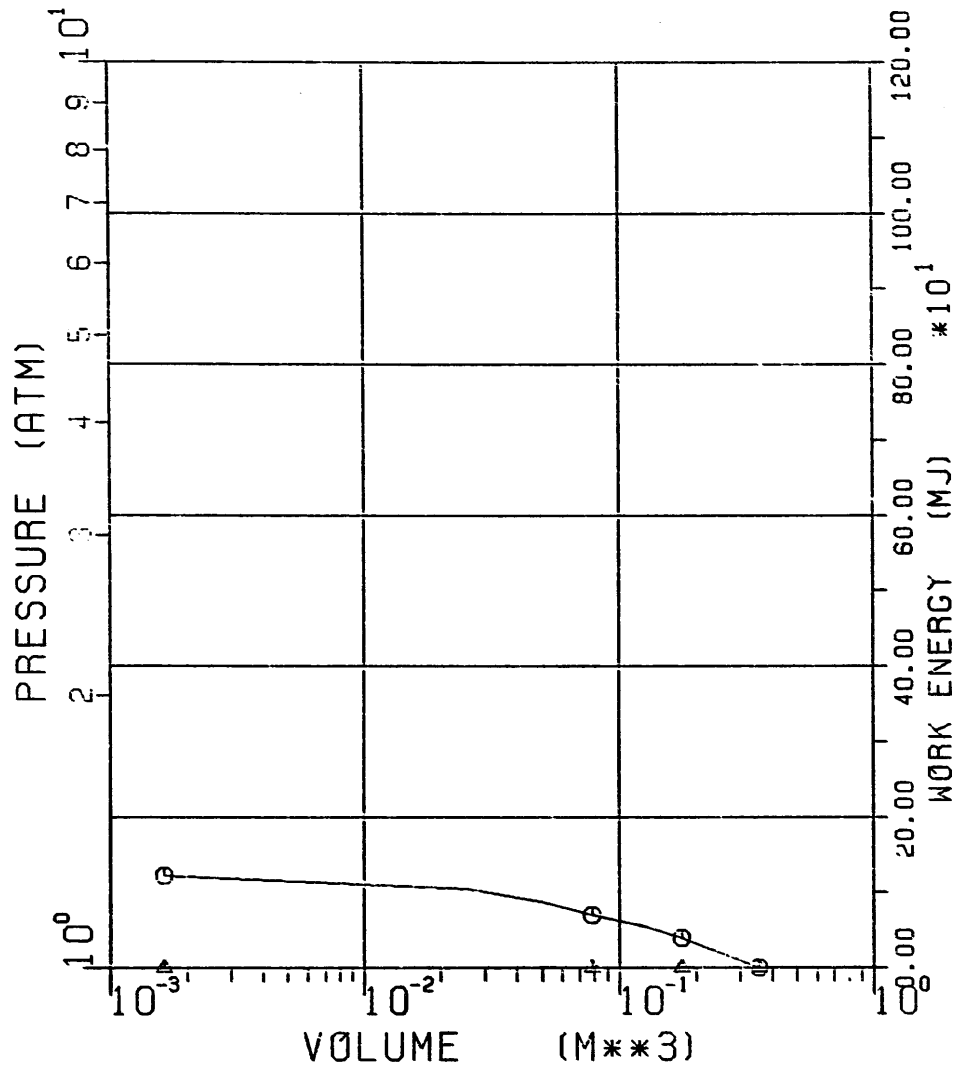


Fig.4.2-55 P-V curve and corresponding fuel vapor expansion work for the two phase fuel generated up to T=20.30 sec.
 Case ID : LF.RP.C2107

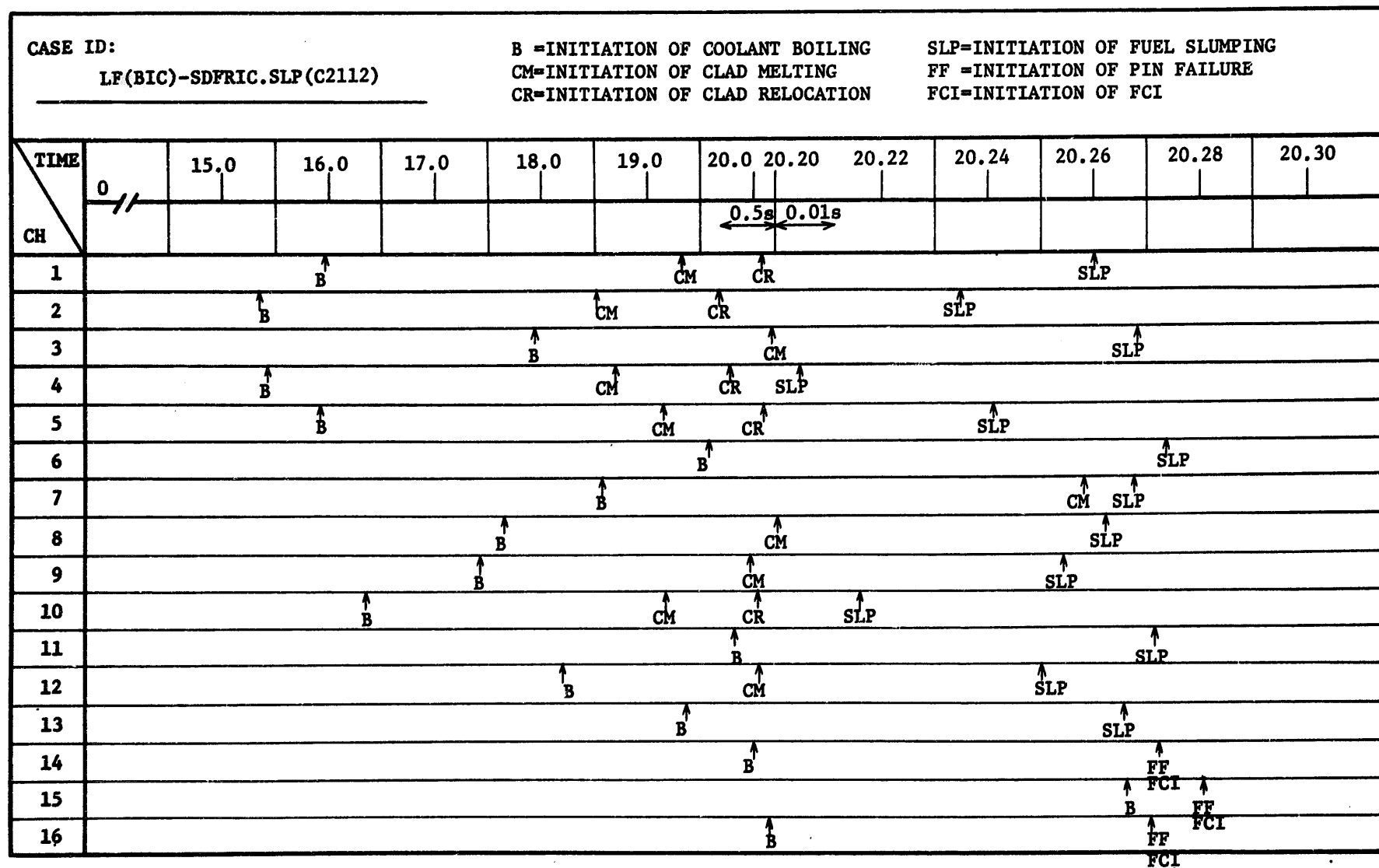


Fig. 4.2-56 Timing of events for BOIC LOF (LF.SDFRIC.C2112)

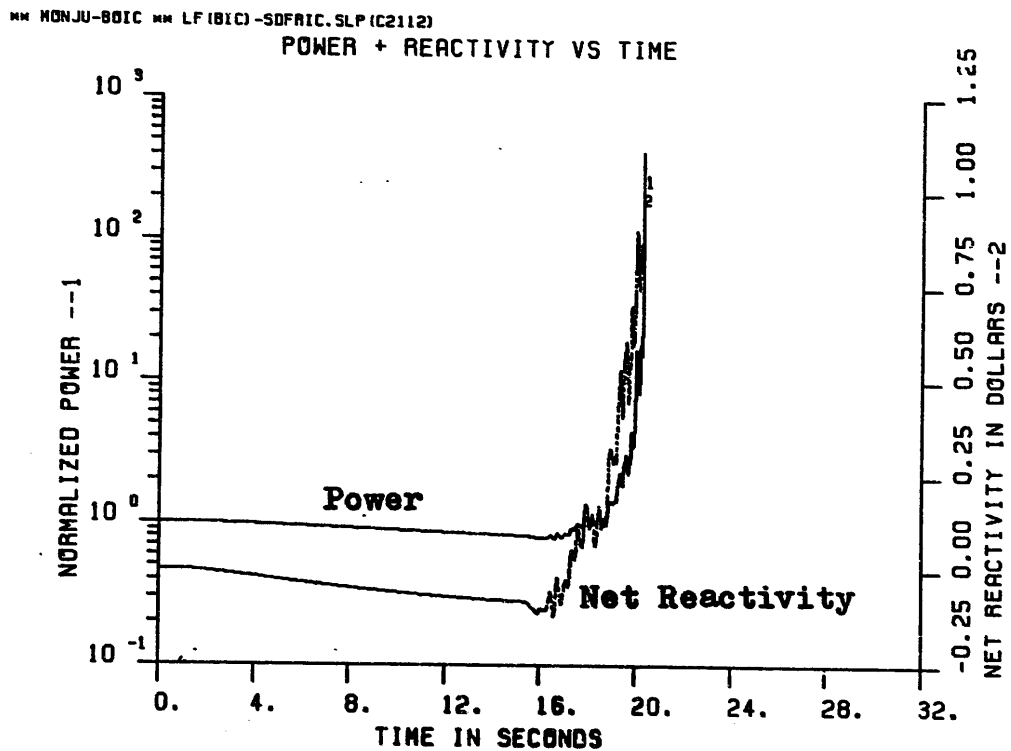
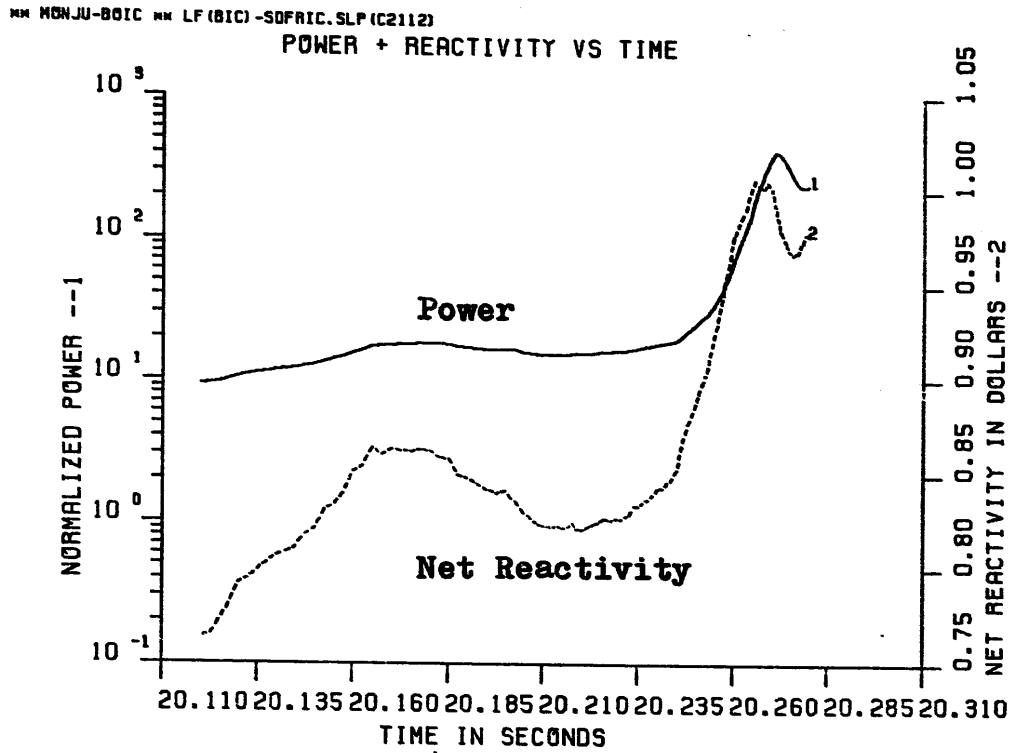


Fig.4.2-57 Power and net reactivity profiles for BOIC LOF
Case ID : LF.SDFRIC.C2112

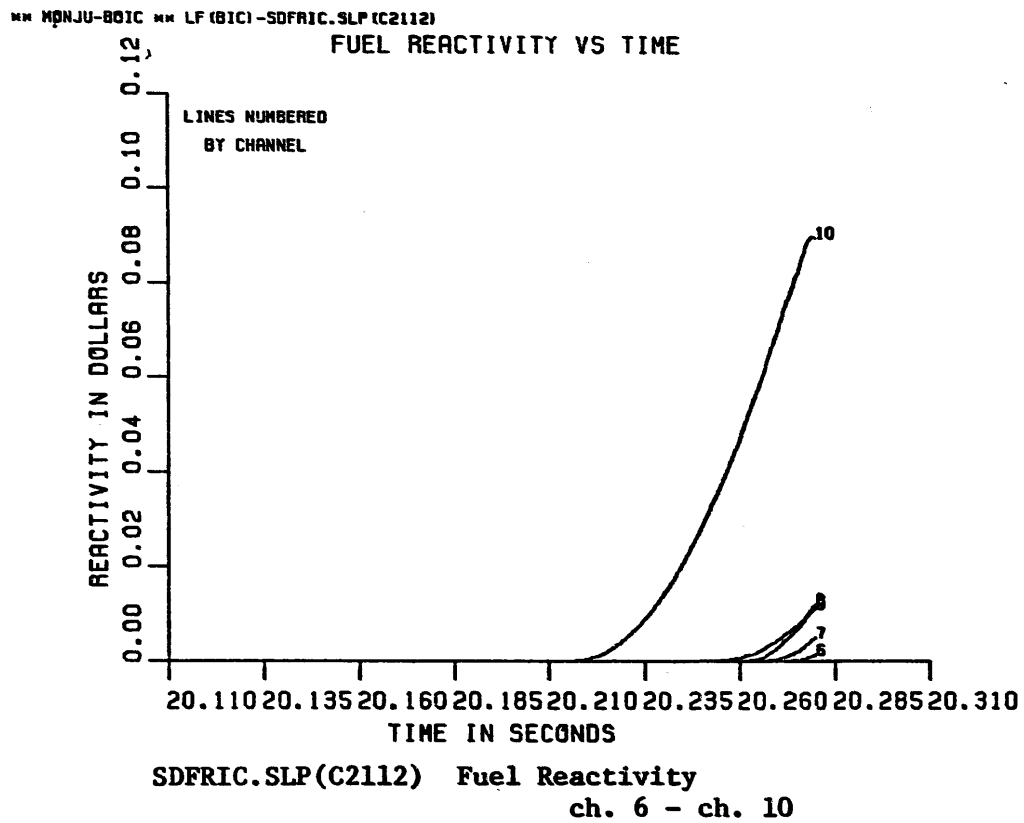


Fig.4.2-58 Fuel reactivity traces by channel for BOIC LOF
Case ID : LF.SDFRIC.C2112

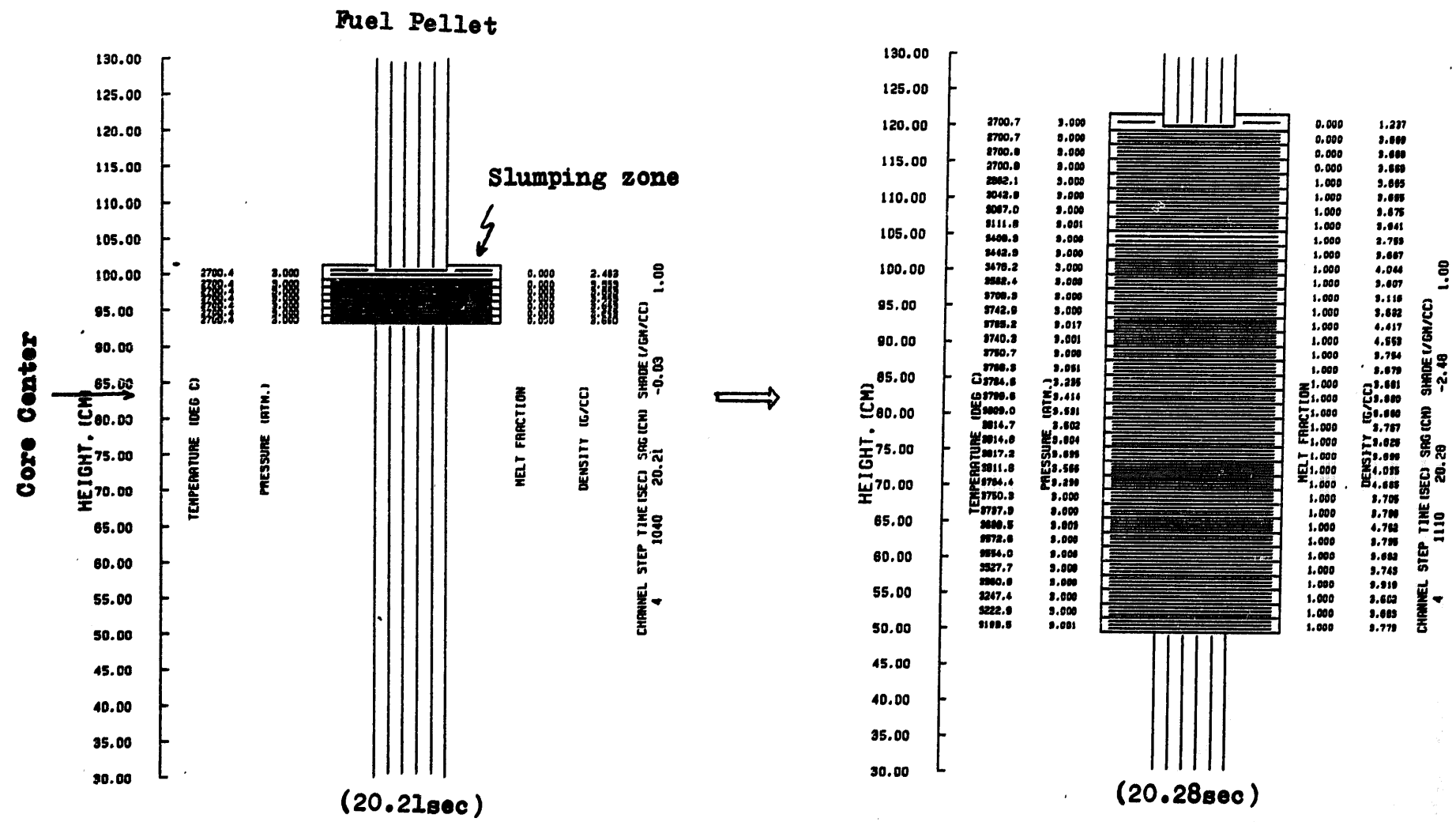
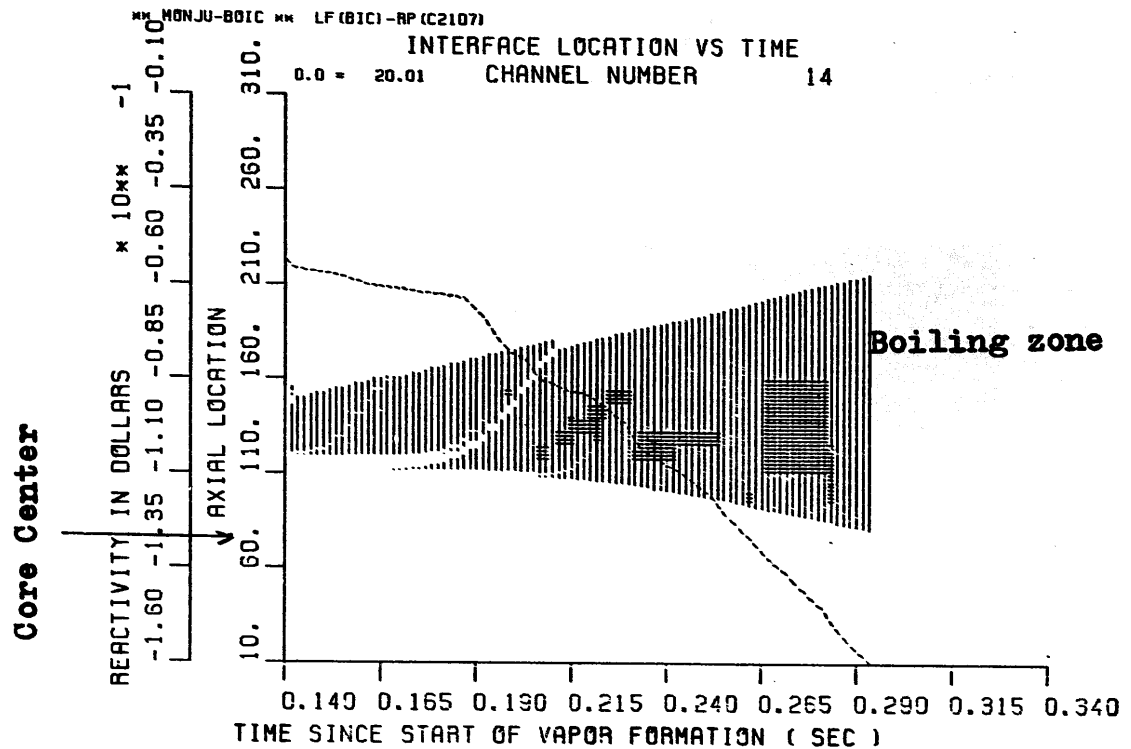


Fig.4.2-59 The extension of fuel slumping region in ch.4 for BOIC LOF (LF.SDFRIC.C2112)



Voiding Profiles in Channel 14 for BOIC LOF (LF.RP.C2107).

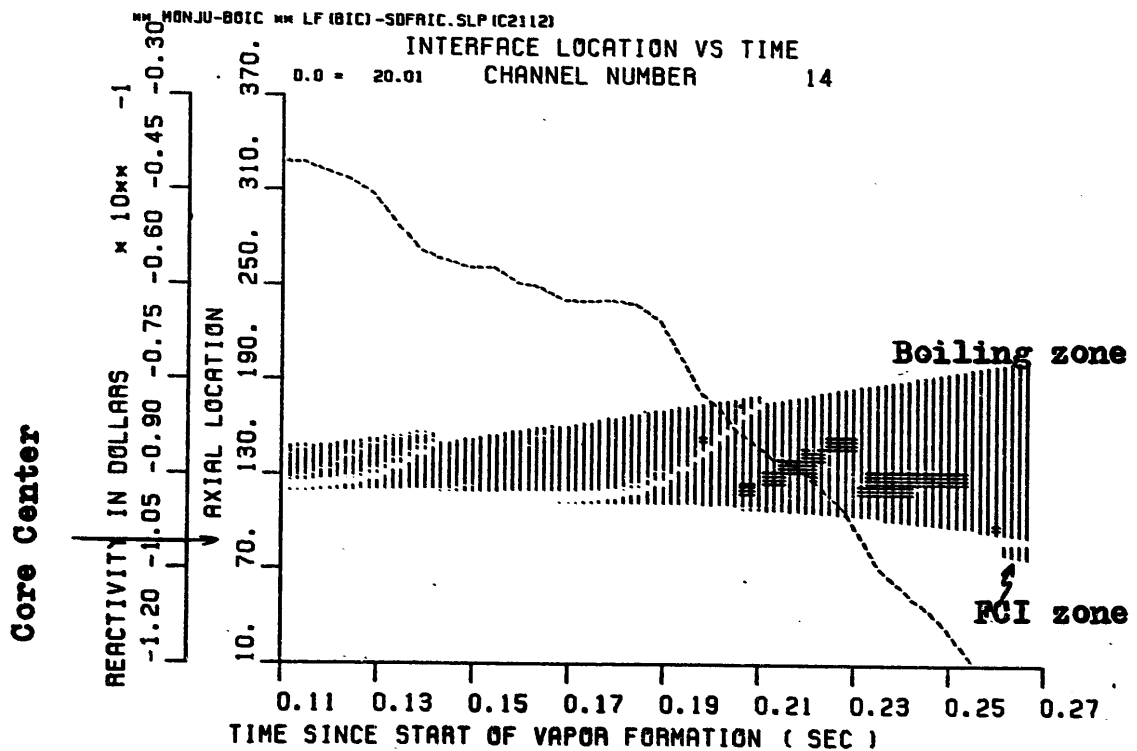
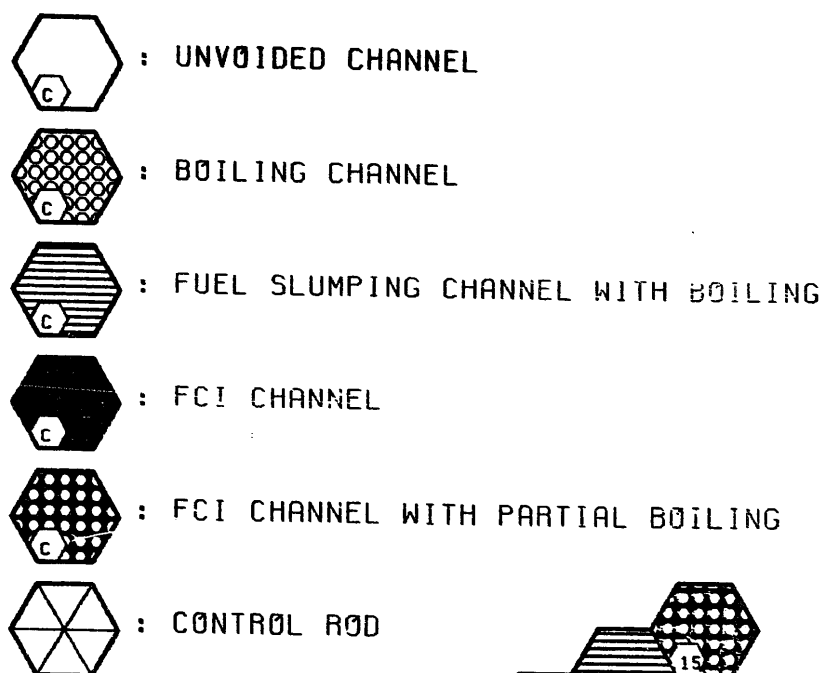
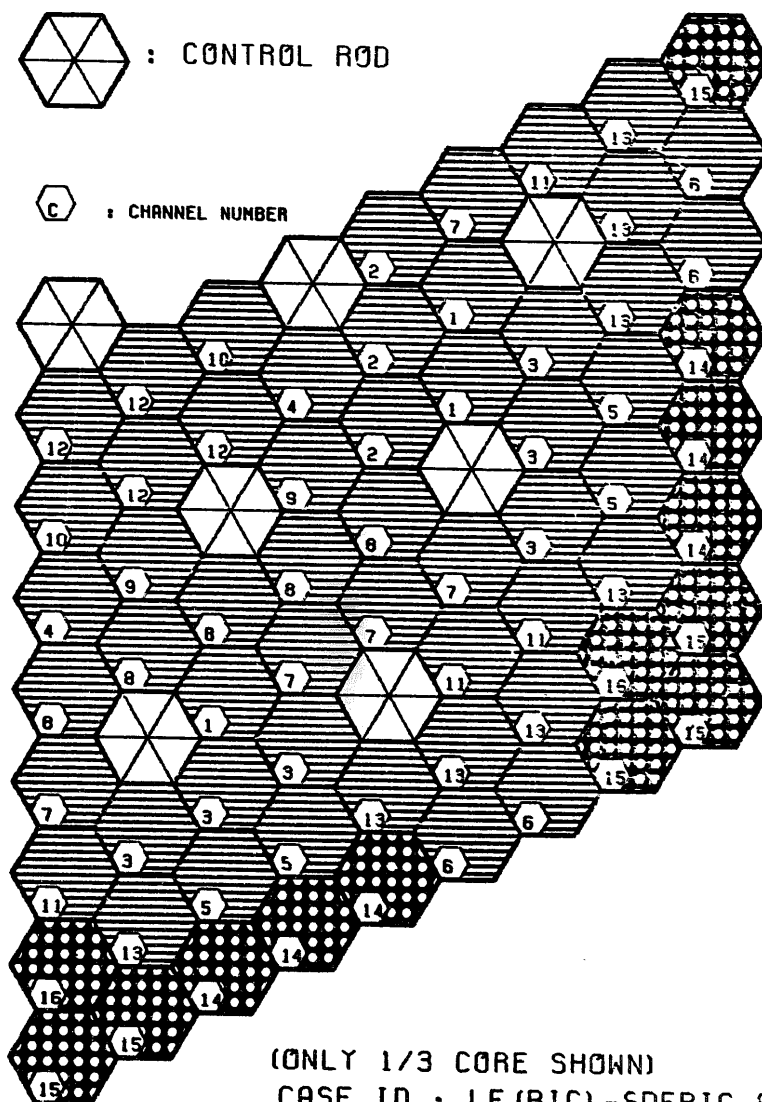


Fig.4.2-60 Comparison of coolant voiding profile in ch.14 between LF.RP.C2107 and LF.SDFRIC.C2112



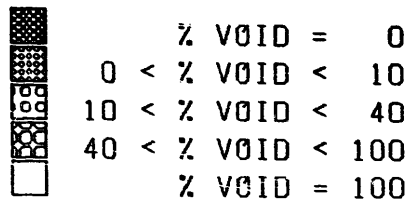
 : CHANNEL NUMBER



(ONLY 1/3 CORE SHOWN)

CASE ID : LF (BIC) -SDFRIC.SLP (C2112)

Fig.4.2-61 Core state at T=20.28 sec for BOIC LOF
Case ID : LF.SDFRIC.C2112



LF (BIC) -SDFRIC.SLP.C2112.STP1115

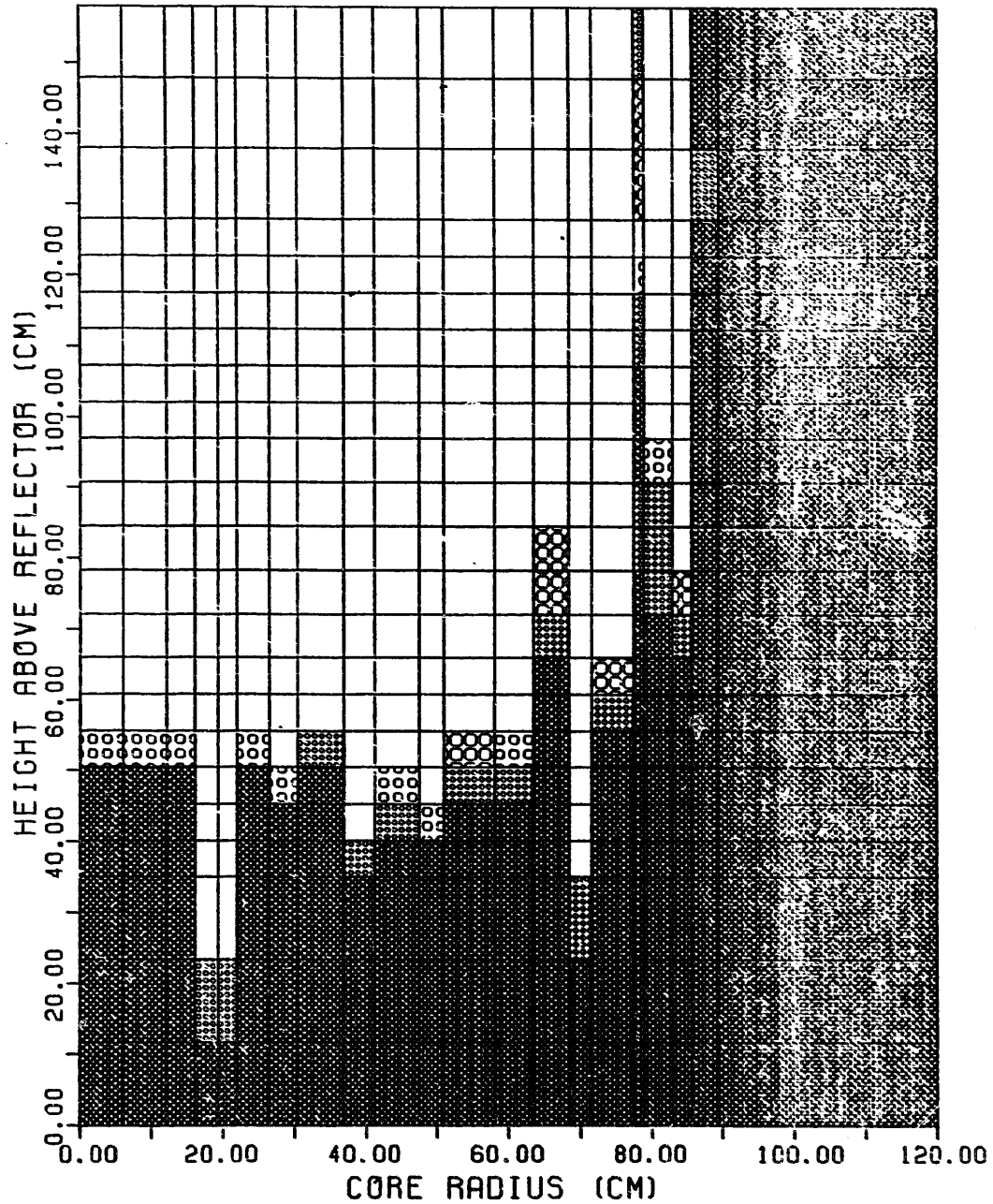


Fig.4.2-62 Fuel temperature distribution at T=20.28 sec for BOIC LOF
Case ID : LF.SDFRIC.C2112

	4000 < T	K	ACTIVE CORE STATE :		
	3500 < T < 4000	K		MAX FUEL TEMP. (K)	=4364.8
	TMELT+1 < T < 3500	K		MIN FUEL TEMP. (K)	=1976.7
	TMELT-1 < T < TMELT+1	K		AVERAGE FUEL TEMP. (K)	=3168.8
	2000 < T < TMELT-1	K		TEMP. PEAKING FACTOR	=1.4
	T < 2000	K			

MOLTEN CORE STATE: TOTAL MOLTEN FUEL MASS (KG) = 4475.9
MOLTEN FUEL AVERAGE TEMP. (K) = 3388.0
ENERGY ABOVE FUEL SOLIDUS (MJ) = 2188.1

LF (BIC) -SDFRIC.SLP.C2112.STP1115

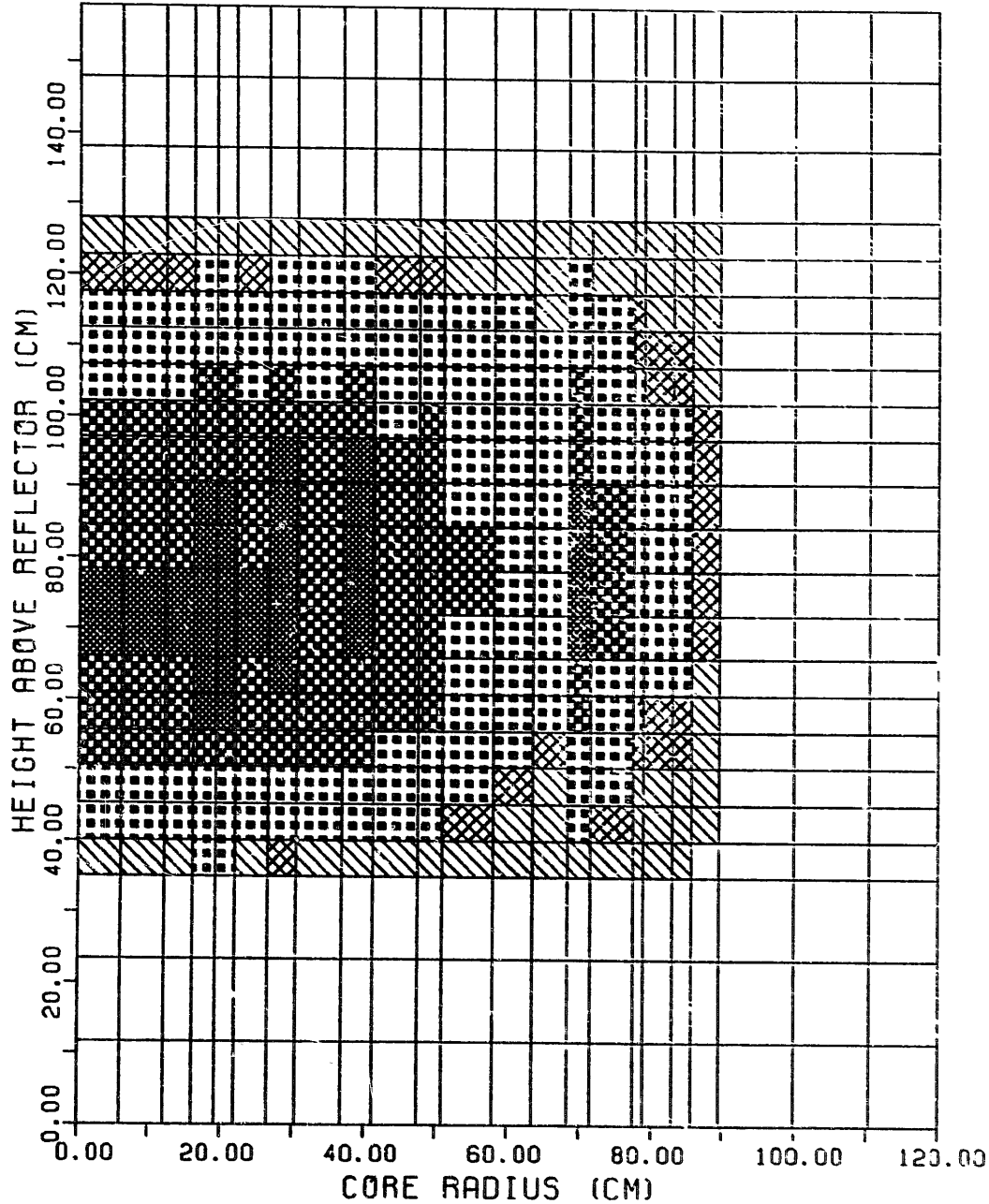


Fig.4.2-63 Coolant void distribution at T=20.28 sec for BOIC LOF
Case ID : LF.SDFRIC.C2112

FUEL VAPOR WORK (AT ONE ATM) = 9.4 (MJ)
 FUEL VAPOR WORK (AT SLUG IMPACT) = 0.0 (MJ)
 ▲ — ▲ : FUEL VAPOR WORK ENERGY
 ○ — ○ : FUEL VAPOR PRESSURE

LF (BIC) -SDFRIC.SLP.C2112.STP1115

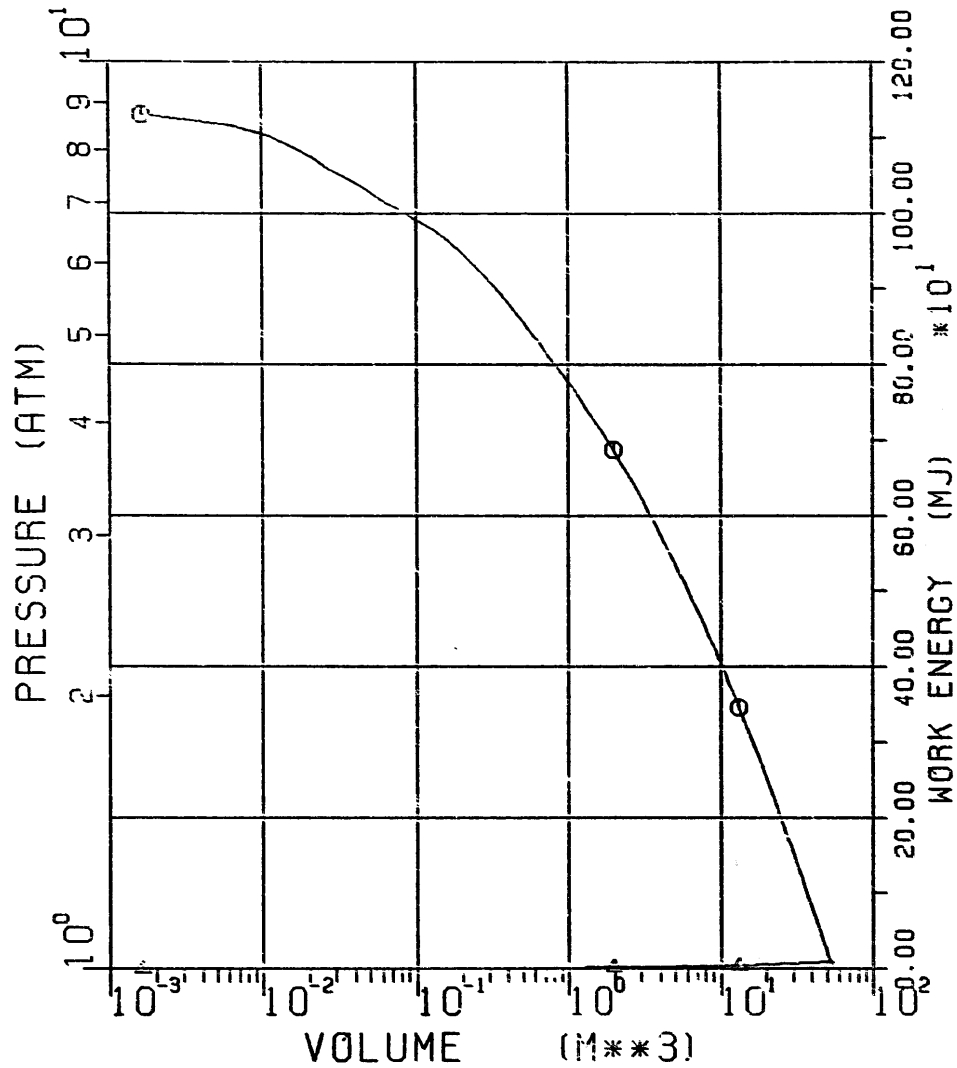


Fig.4.2-64 P-V curve and corresponding fuel vapor expansion work for the two phase fuel generated up to T=20.28 sec
 Case ID : LF.SDFRIC.C2112

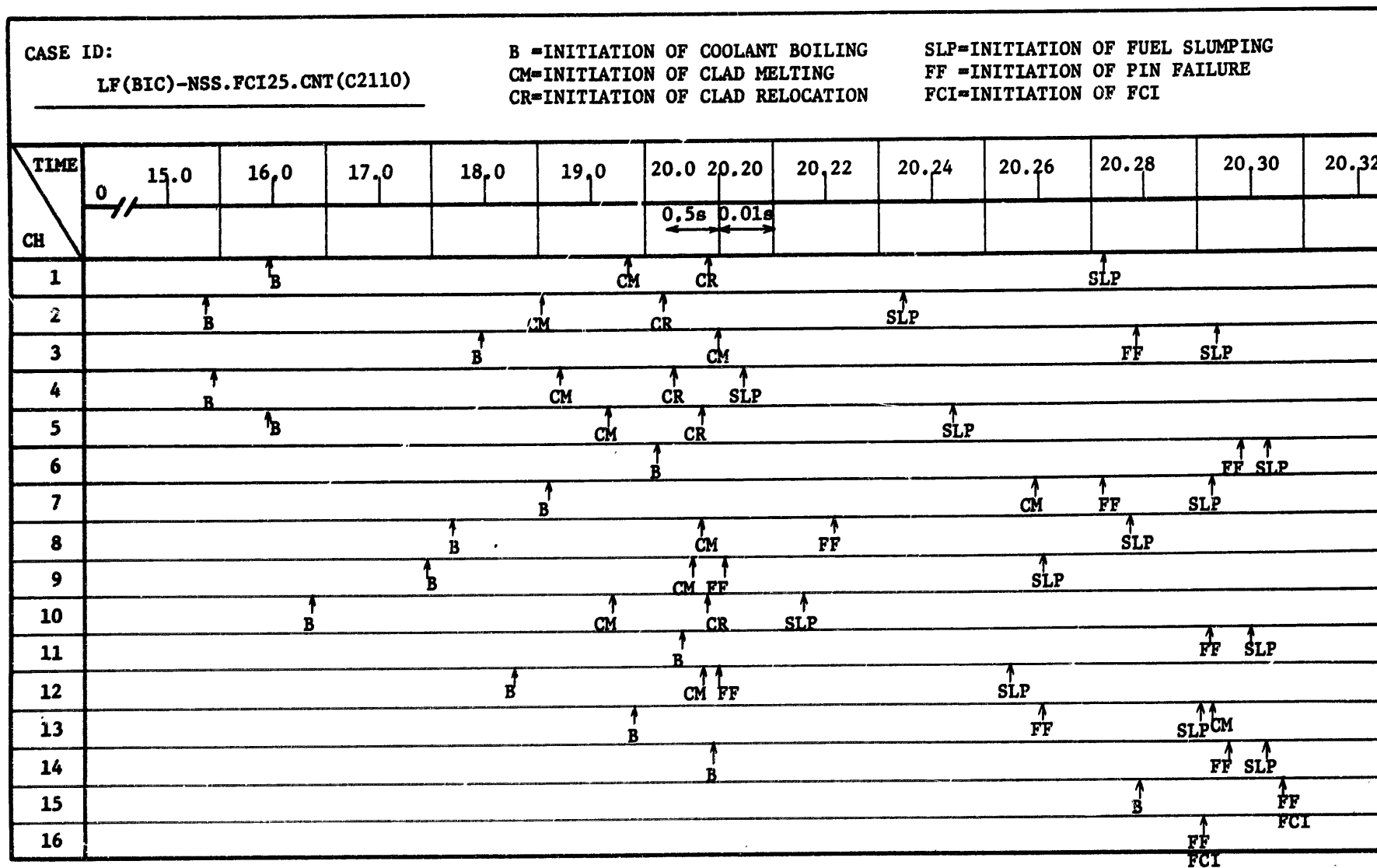


Fig. 4.2-65 Timing of events for BOIC LOF (LF.NSS.FCI25.CNT.C2110)

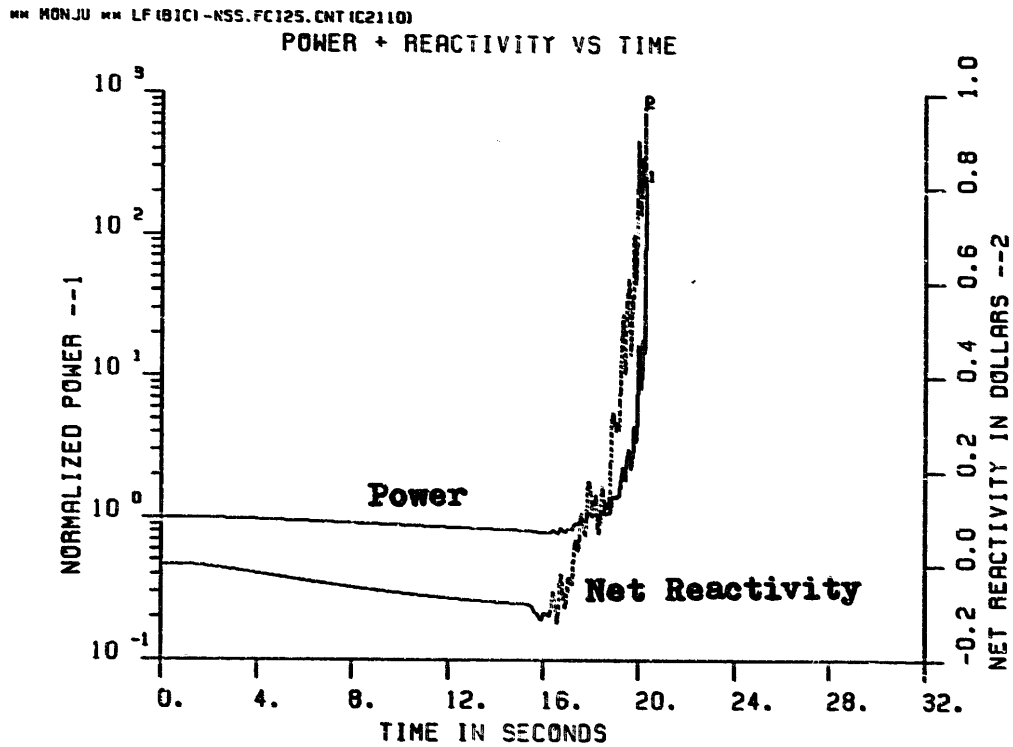
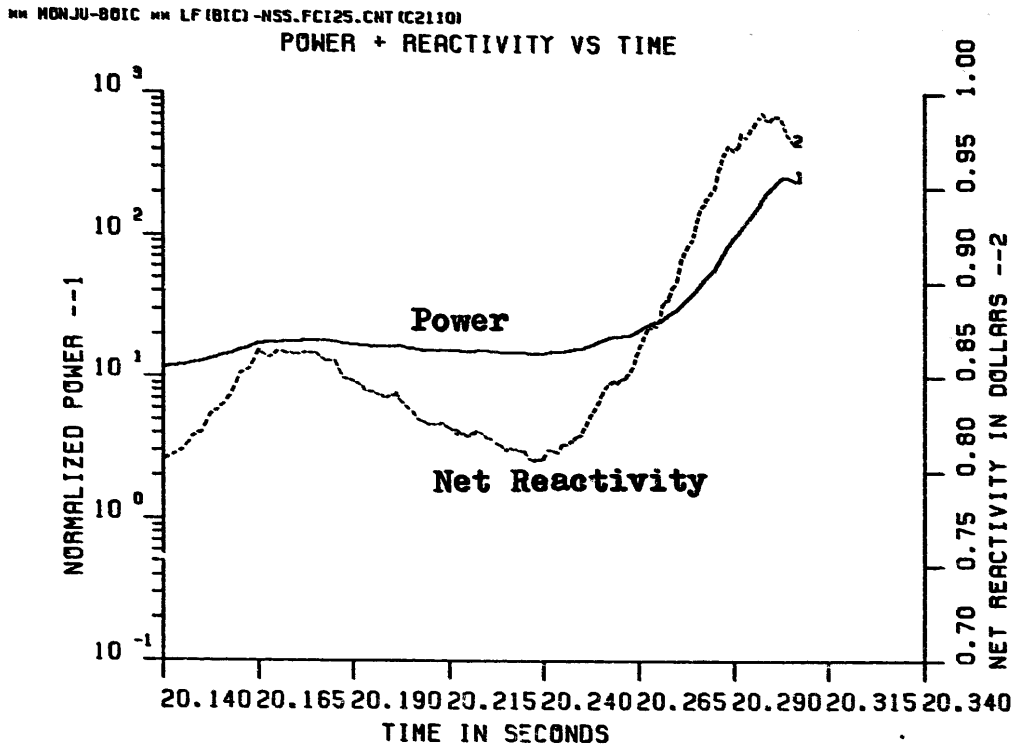


Fig.4.2-66 Power and net reactivity profiles for BOIC LOF
Case ID : LF.NSS.FCI25.CNT.C2110

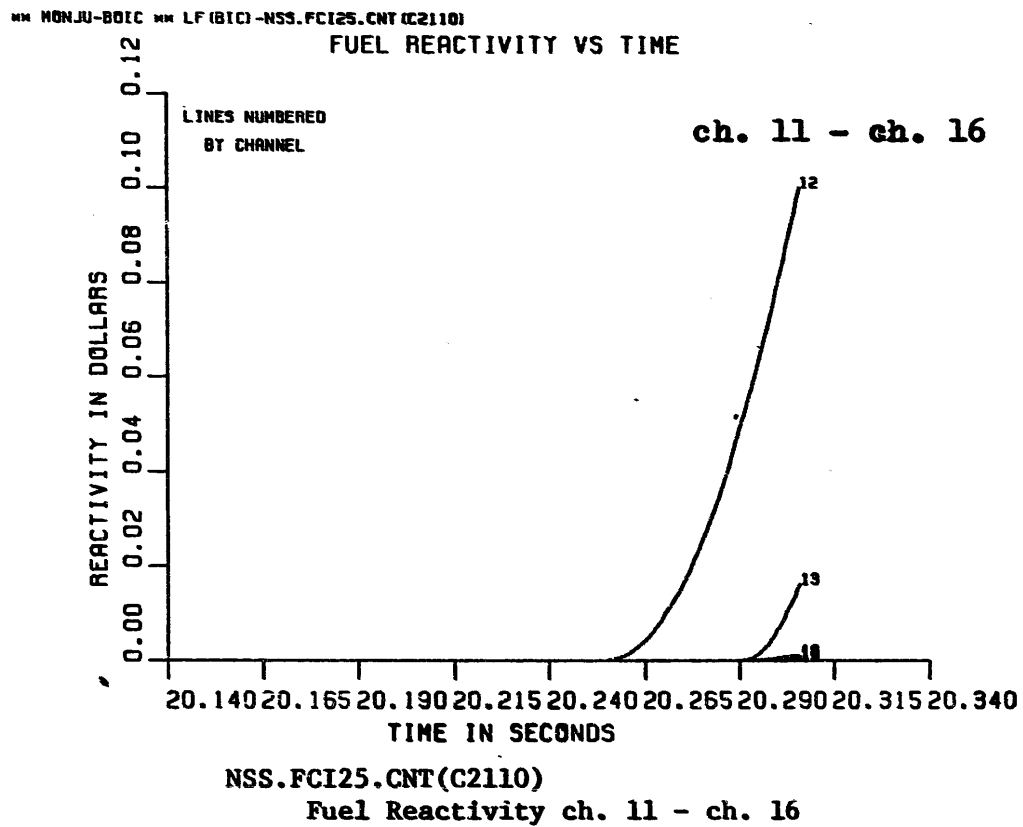


Fig.4.2-67 Fuel reactivity traces by channel for BOIC LOF
Case ID : LF.NSS.FCI25.CNT.C2110

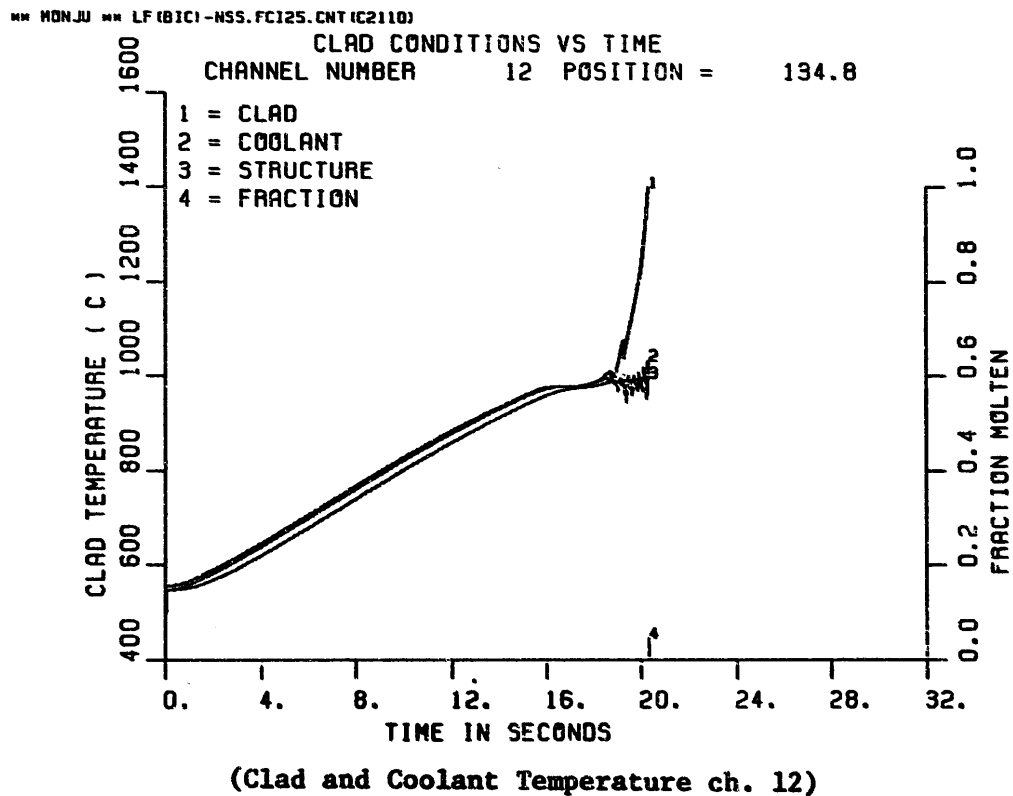
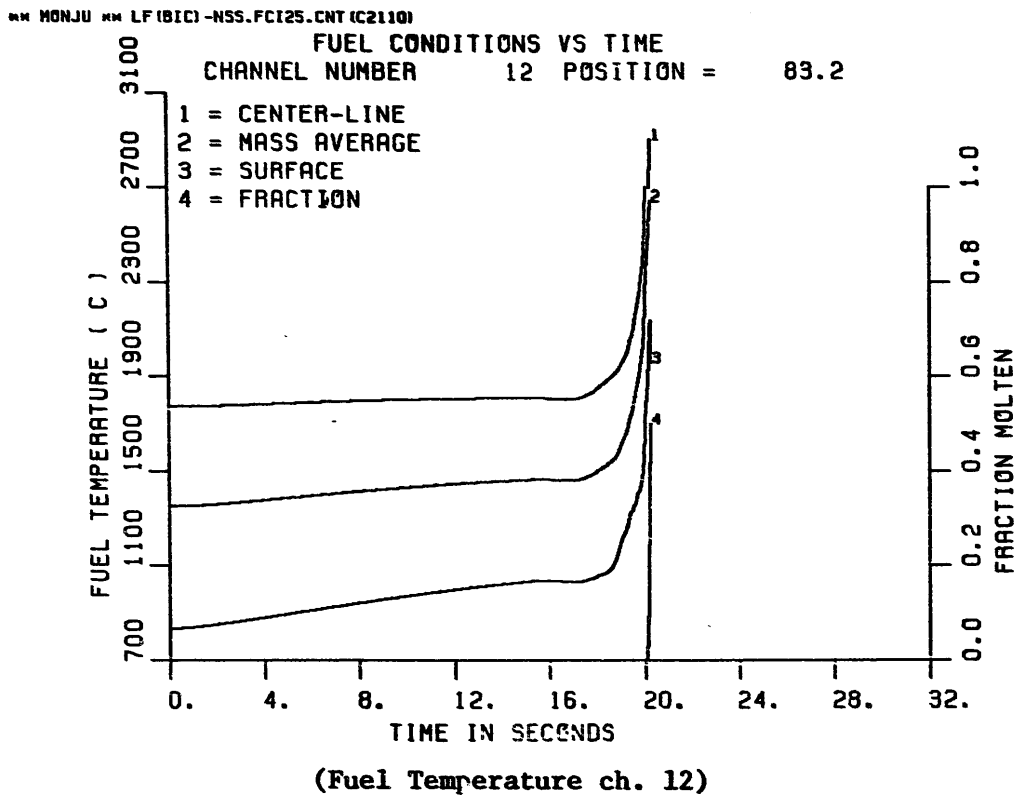
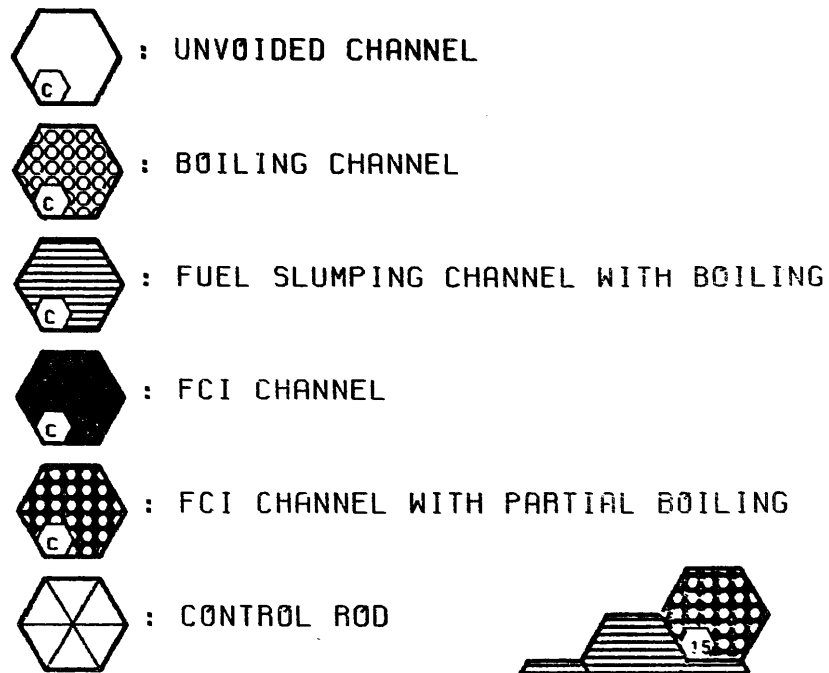
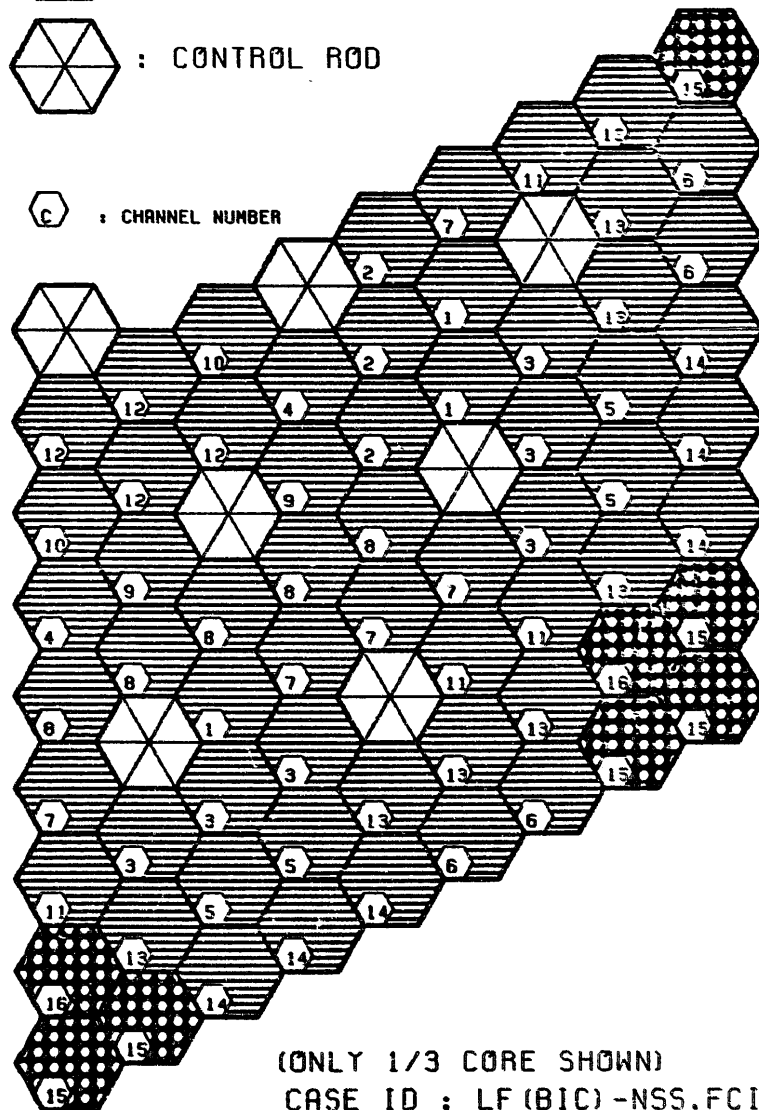


Fig.4.2-68 Fuel temperature distribution at the end of initiating phase for BOIC LOF. Case ID : LF.NSS.FCI25.CNT.C2110



 : CHANNEL NUMBER



(ONLY 1/3 CORE SHOWN)

CASE ID : LF(BIC)-NSS.FCI25.CNT(C2110)

Fig.4.2-69 Core state at T=20.30 sec for BOIC LOF
Case ID : LF.NSS.FCI25.CNT.C2110

	4000 < T	K	ACTIVE CORE STATE :		
	3500 < T < 4000	K		MAX FUEL TEMP. (K)	=3873
	TMELT+1 < T < 3500	K		MIN FUEL TEMP. (K)	=1808
	TMELT-1 < T < TMELT+1	K		AVERAGE FUEL TEMP. (K)	=2942
	2000 < T < TMELT-1	K		TEMP. PEAKING FACTOR	=1.3
	T < 2000	K			
MOLTEN CORE STATE: TOTAL MOLTEN FUEL MASS (KG)				= 3390.	
MOLTEN FUEL AVERAGE TEMP. (K)				= 3185.	
ENERGY ABOVE FUEL SOLIDUS (MJ)				= 1312.	

LF (BIC) -NSS.FCI25.CNT.C2110.STP1135

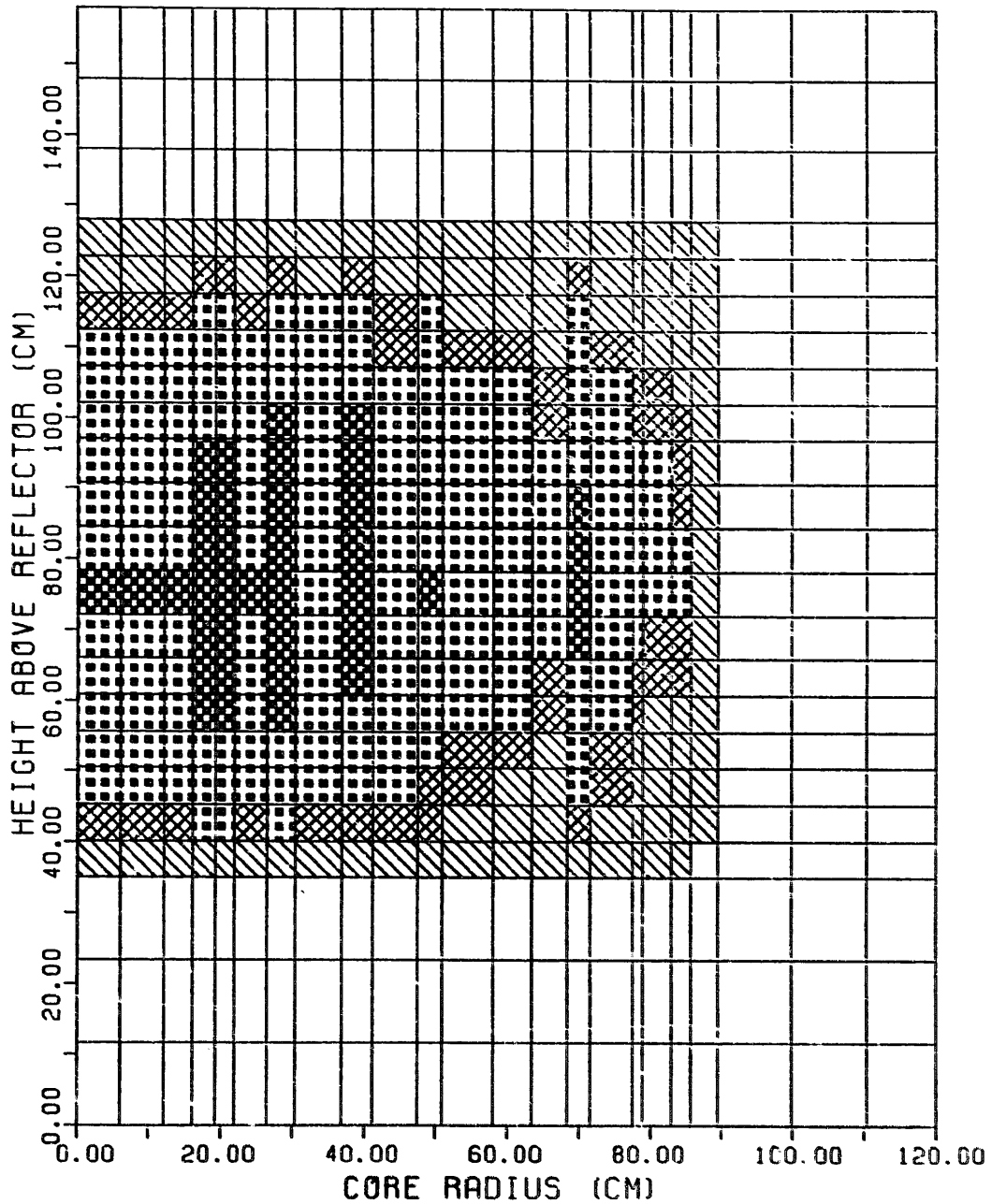
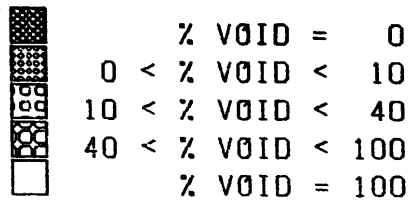


Fig.4.2-70 Fuel temperature distribution at T=20.30 sec for BOIC LOF
Case ID : LF.NSS.FCI25.CNT.C2110



LF (BIC) -NSS.FCI25.CNT.C2110.STP1135

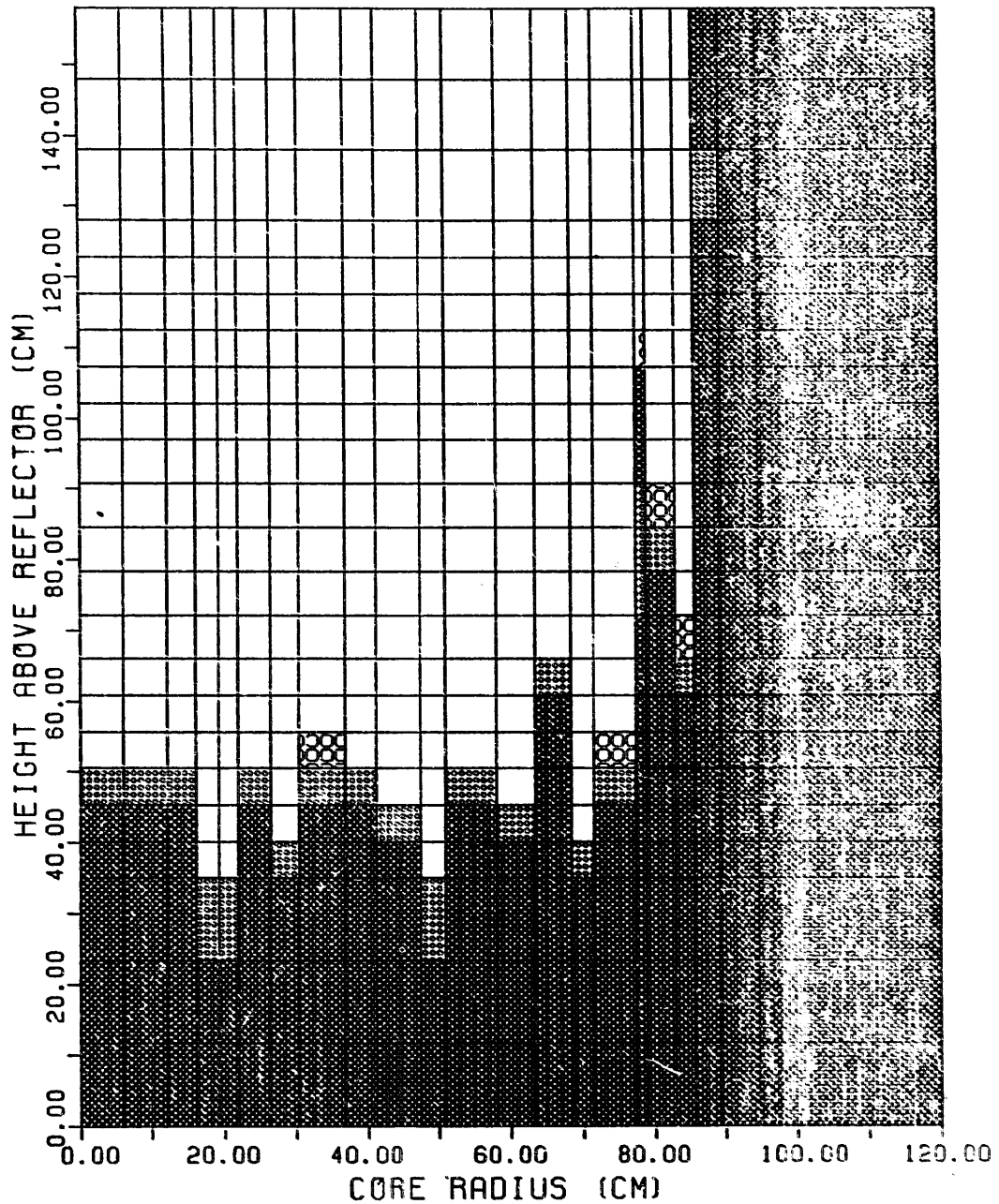


Fig.4.2-71 Coolant void distribution at T=20.30 sec for BOIC LOF
Case ID : LF.NSS.FCI25.CNT.C2110

FUEL VAPOR WORK (AT ONE ATM) = 0.2 (MJ)

FUEL VAPOR WORK (AT SLUG IMPACT) = 0.0 (MJ)

△ ————— △ : FUEL VAPOR WORK ENERGY
 ○ ————— ○ : FUEL VAPOR PRESSURE

LF (BIC) -NSS.FCI25.CNT.C2110.STP1135

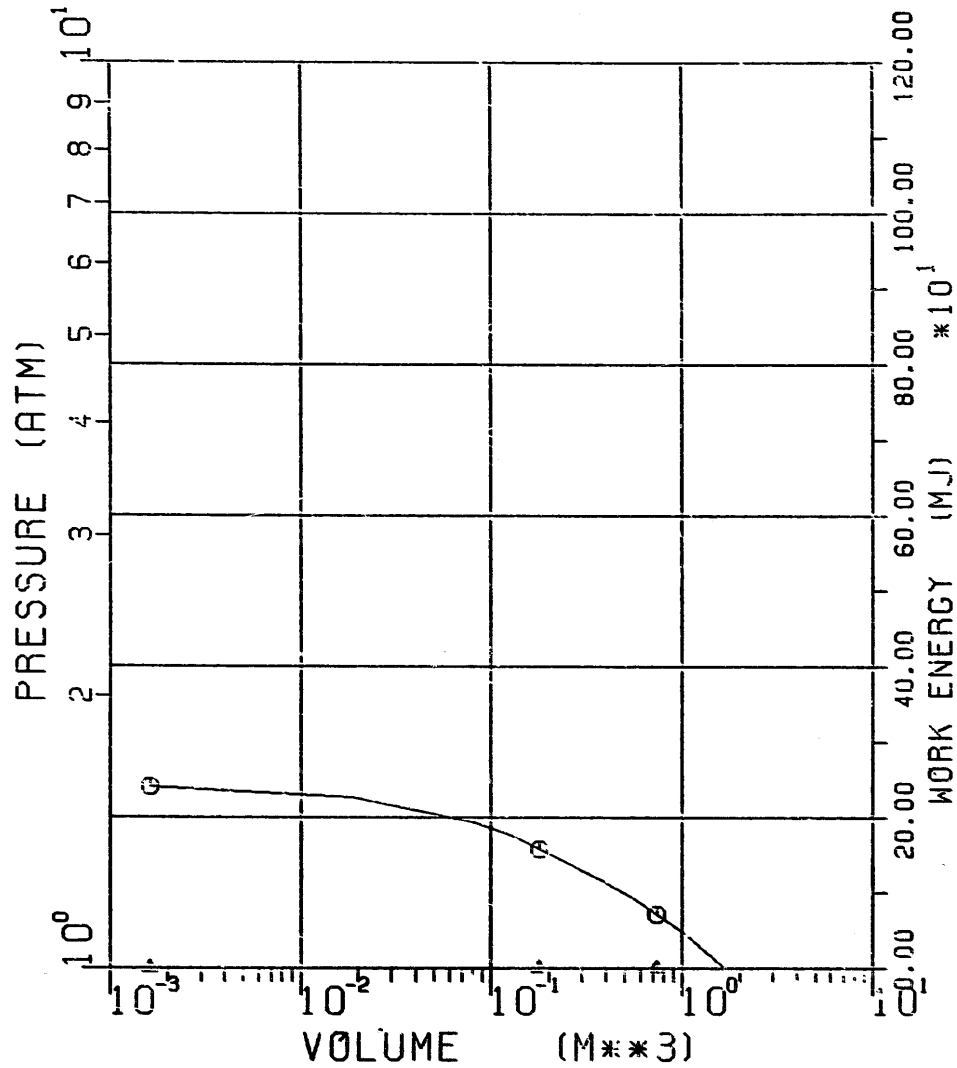


Fig.4.2-72 P-V curve and corresponding fuel vapor expansion work for the two phase fuel generated up to T=20.30 sec
 Case ID : LF.NSS.FCI25.CNT.C2110

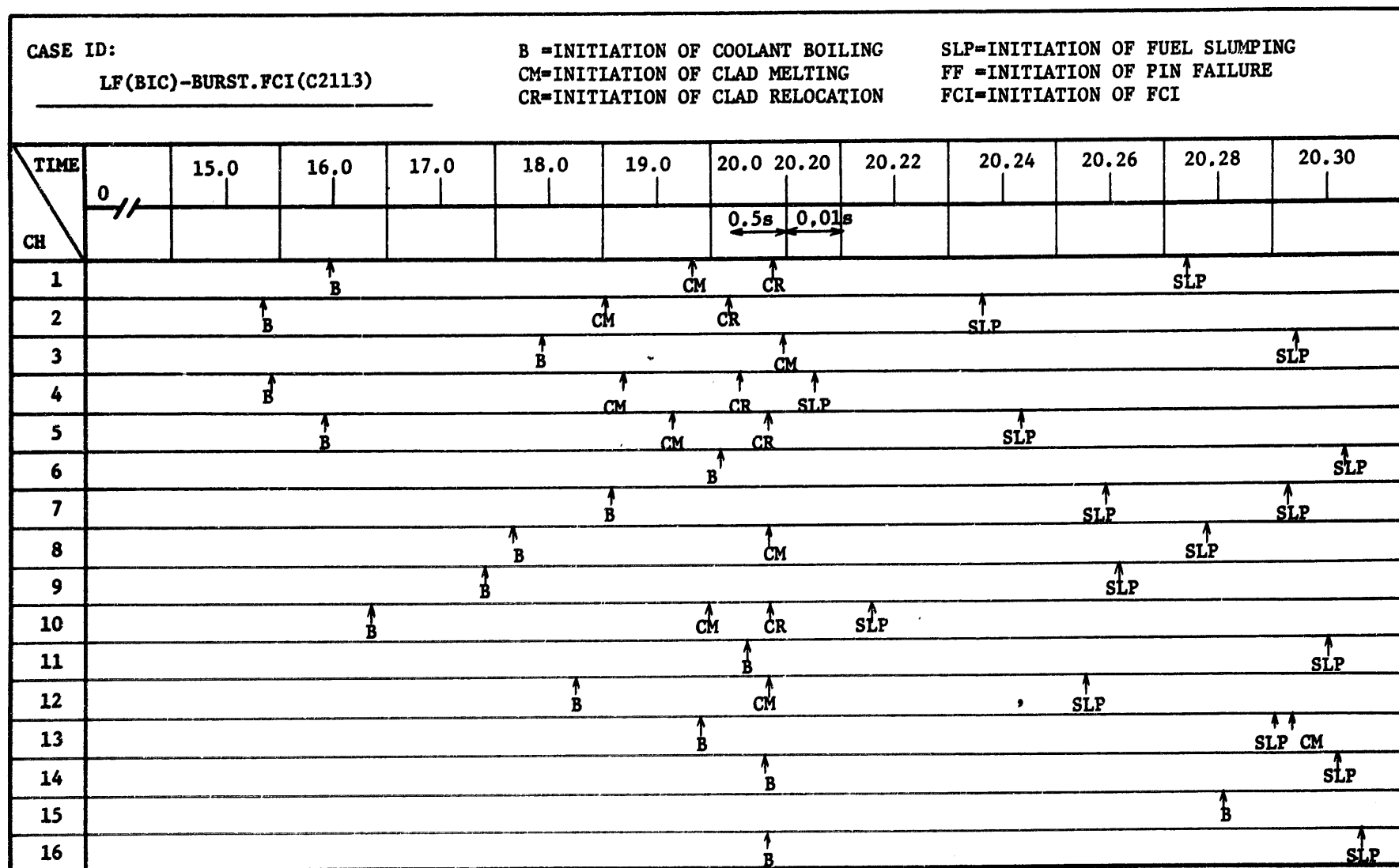


Fig. 4.2-73 Timing of events for BOIC LOF (LF.BURST.FCI.C2113)

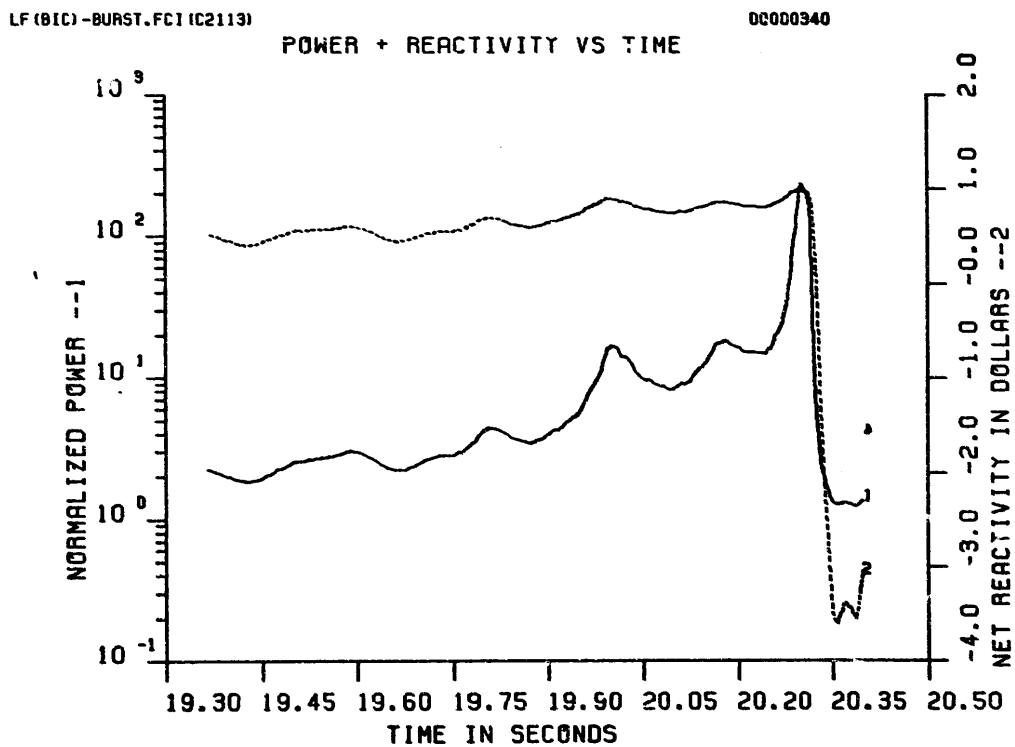
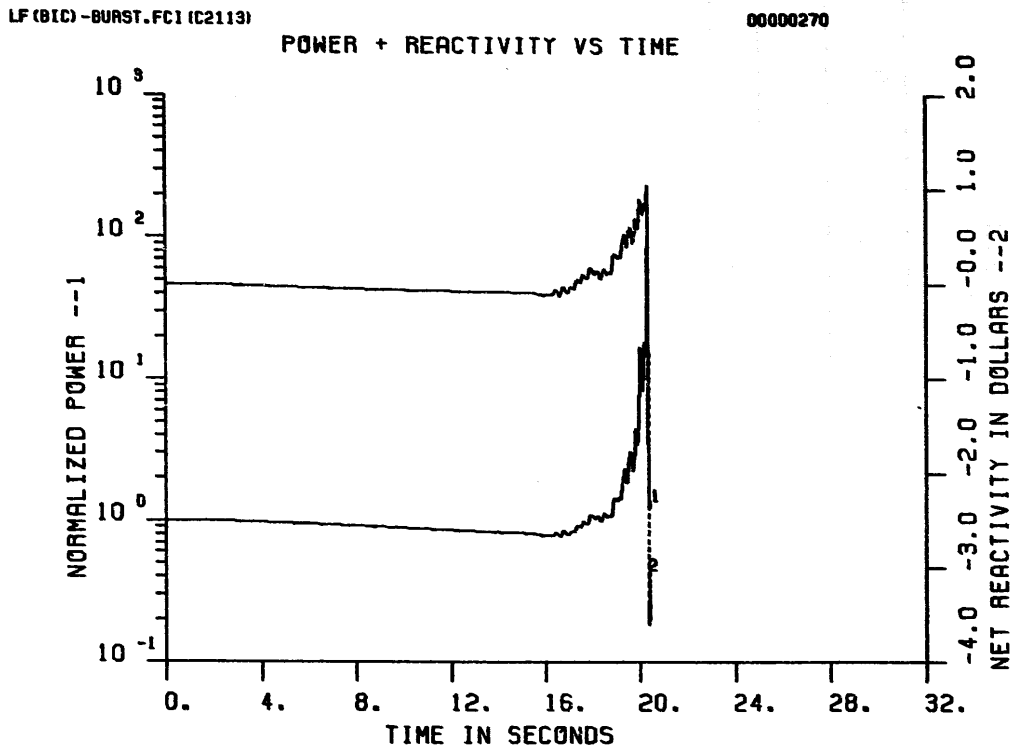
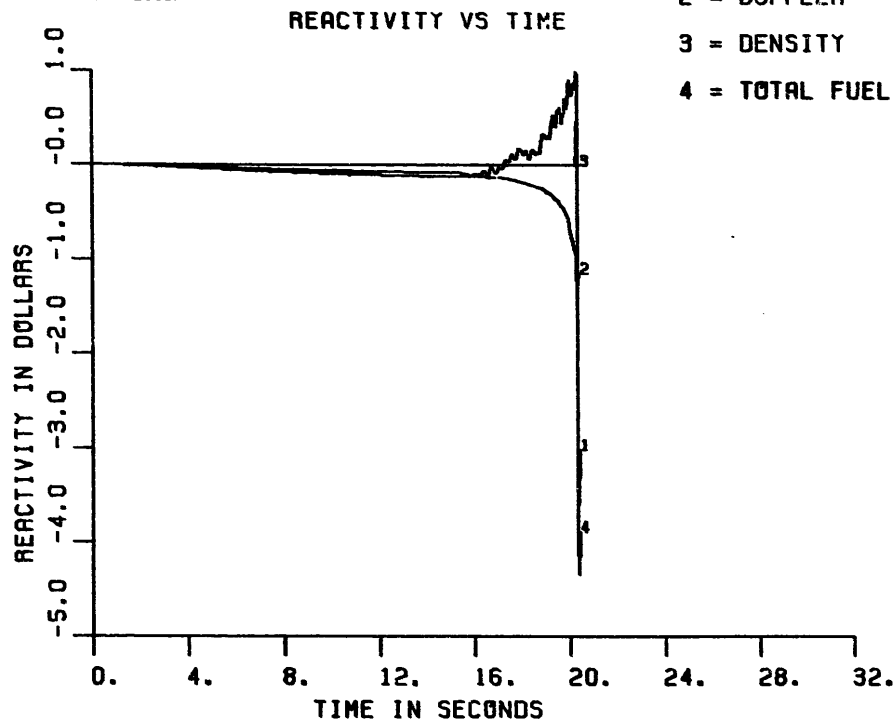


Fig.4.2-74 Power and net reactivity profiles for BOIC LOF
Case ID : LF.BURST.FCI.C2113

REACTIVITY IN DOLLARS

- 1 = NET
- 2 = DOPPLER
- 3 = DENSITY
- 4 = TOTAL FUEL

LF (BIC) -BURST.FCI (C2113)



REACTIVITY IN DOLLARS

- 1 = NET
- 2 = TOTAL COOLANT
- 3 = PROGRAMMED
- 4 = SCRAM
- 5 = TOTAL CLAD

LF (BIC) -BURST.FCI (C2113)

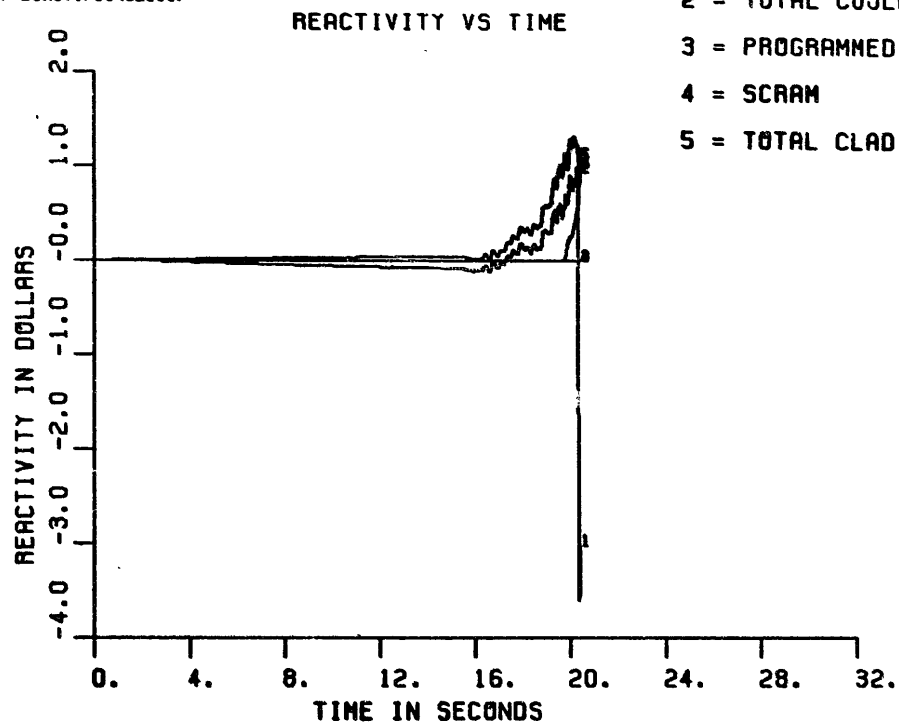


Fig.4.2-75 Component reactivity traces for BOIC LOF (full time)
Case ID : LF.BURST.FCI.C2113

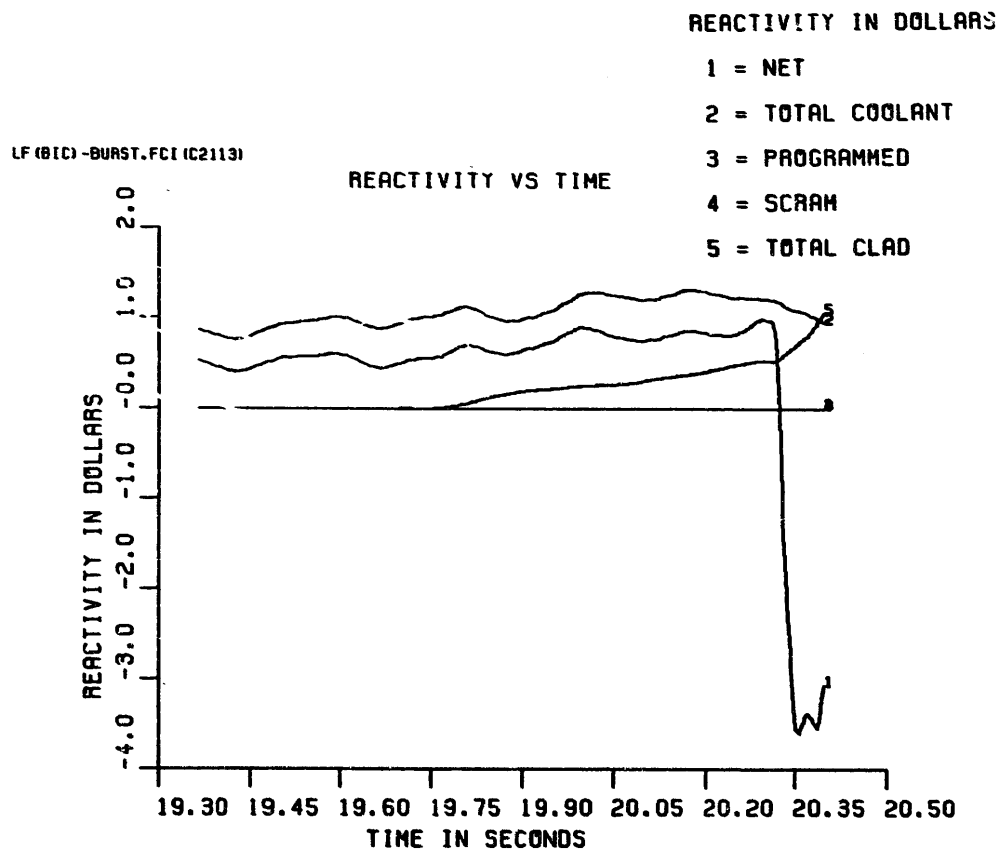
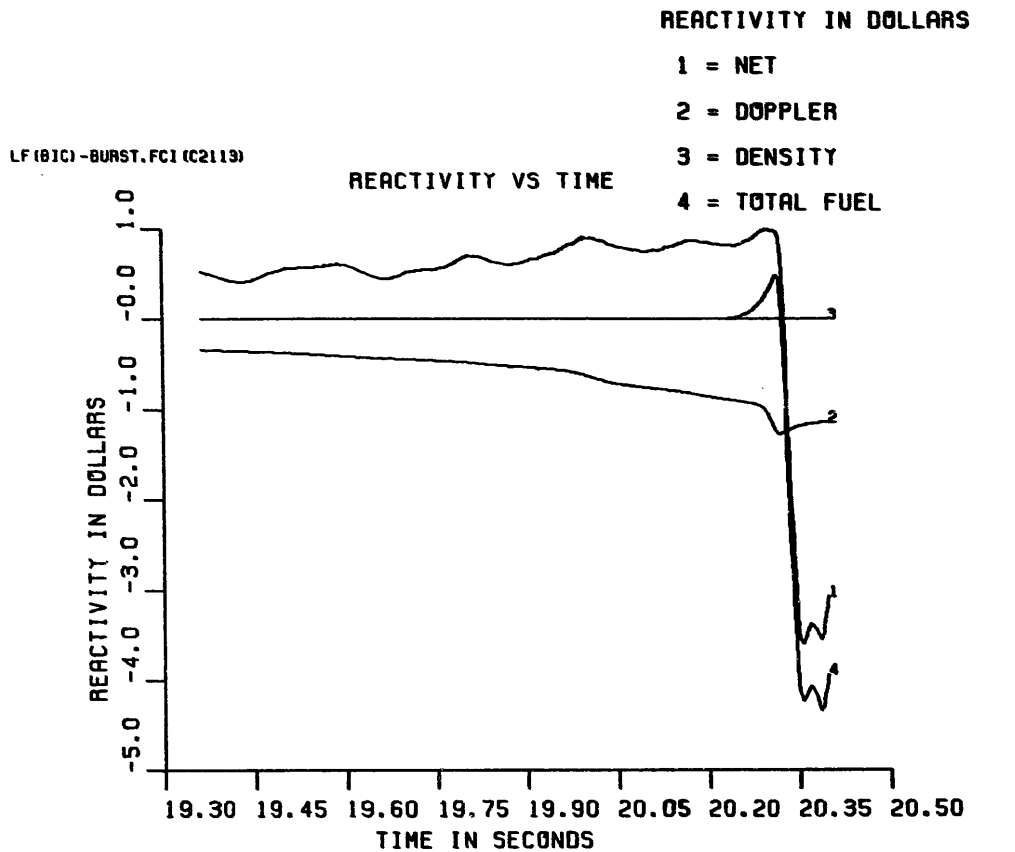


Fig.4.2-76 Component reactivity traces for BOIC LOF
Case ID : LF.BURST.FCI.C2113

LF(BIC)-BURST.FCI(C2113)

00000270

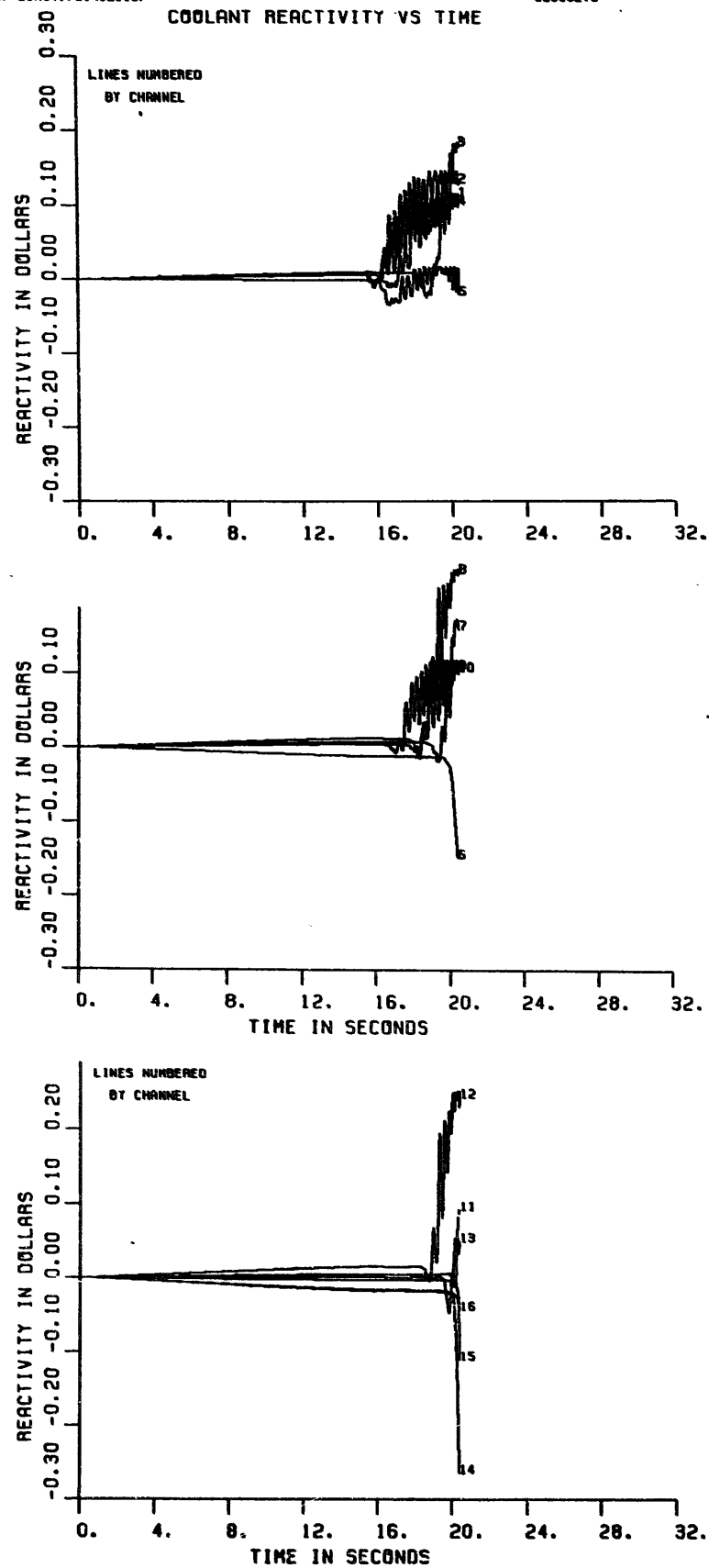


Fig.4.2-77 Coolant reactivity traces by channel for BOIC LOF
Case ID : LF.BURST.FCI.C2113

LF(BIC)-BURST.FCI(C2113)

000C0340

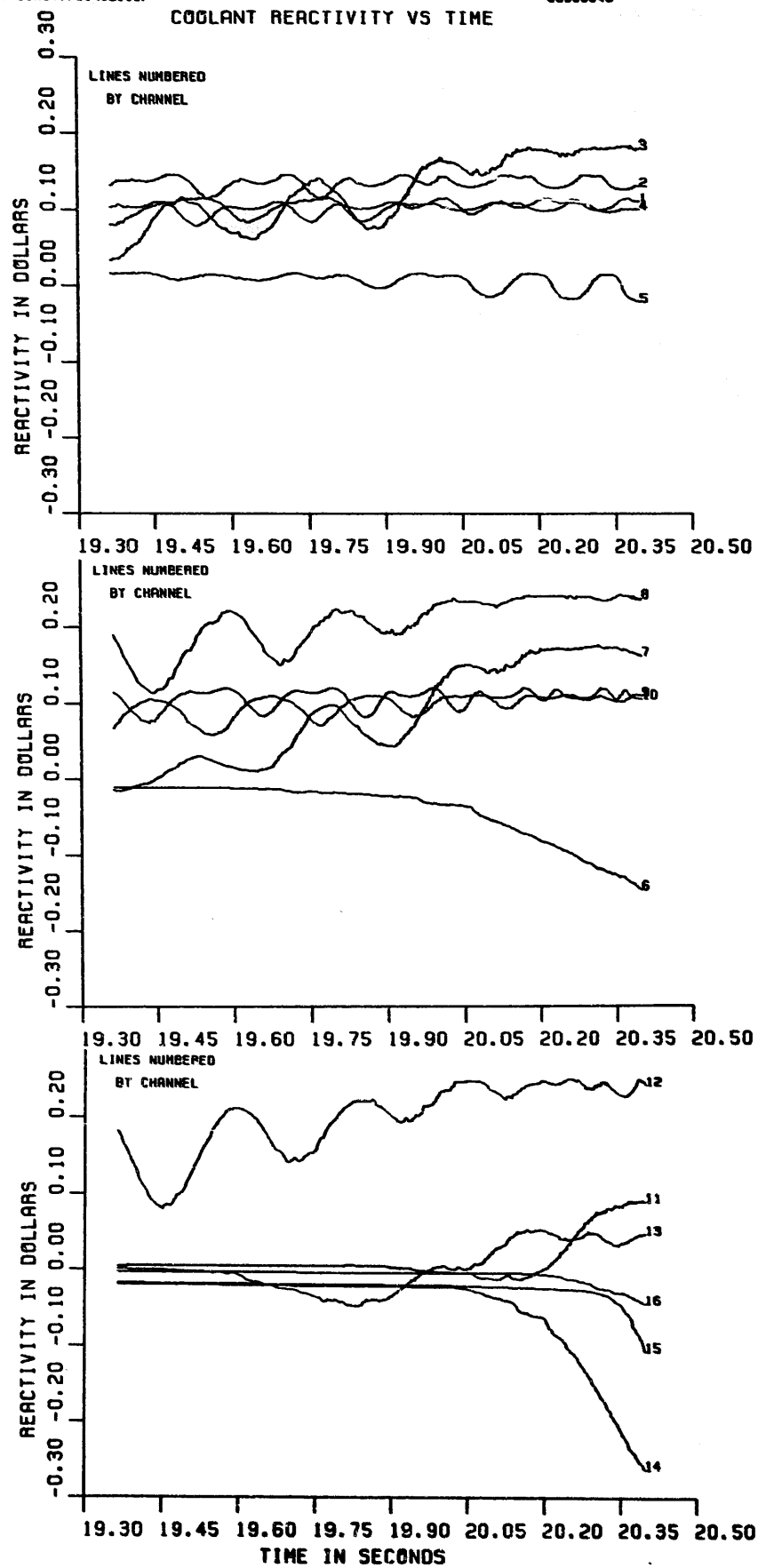


Fig.4.2-78 Coolant reactivity traces by channel for BOIC LOF Case ID : LF.BURST.FCI.C2113

LF(BIC)-BURST.FCI(C2113)

00000340

FUEL REACTIVITY VS TIME

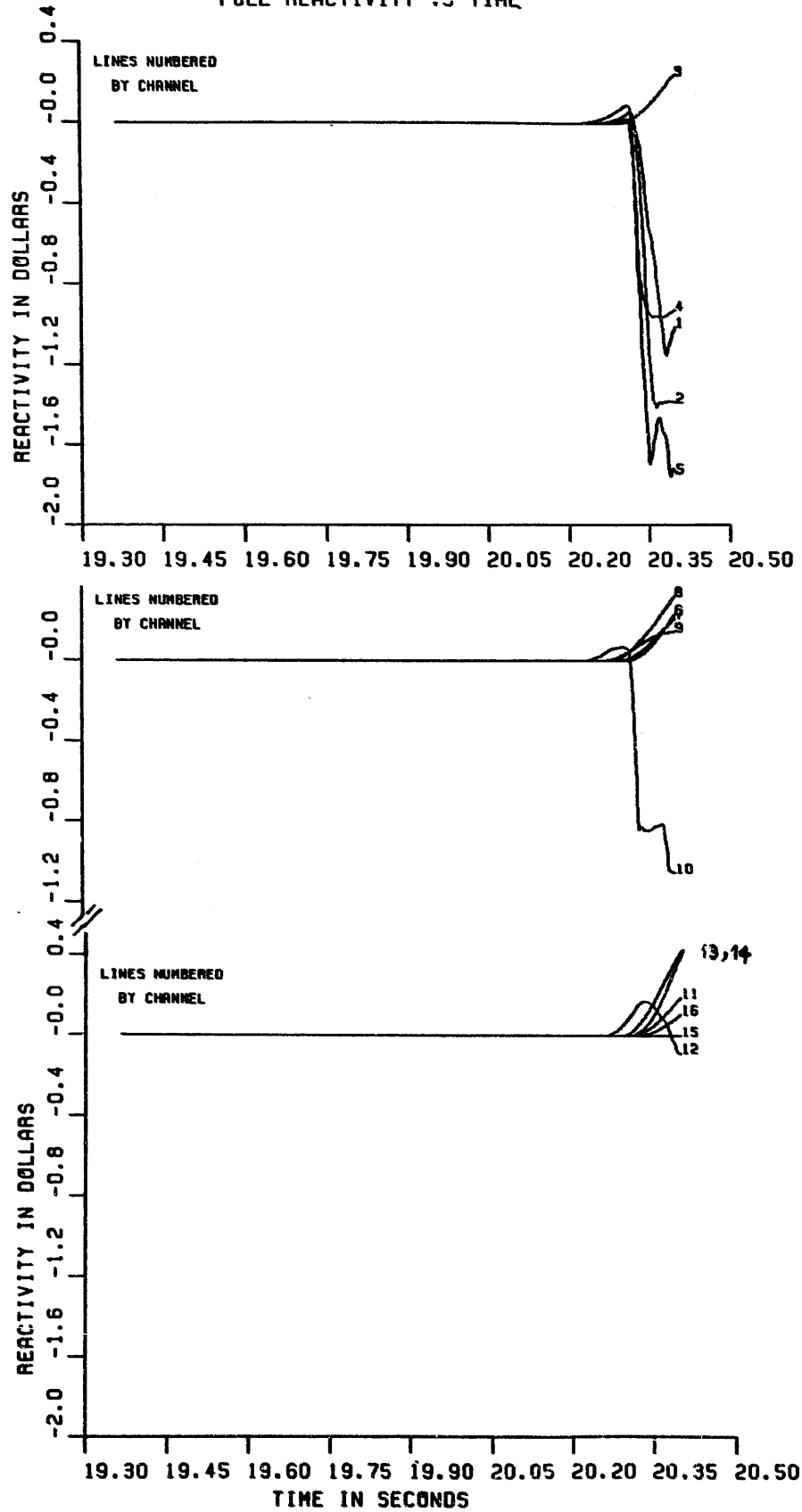


Fig.4.2-79 Fuel reactivity traces by channel for BOIC LOF Case ID : LF.BURST.FCI.C2113

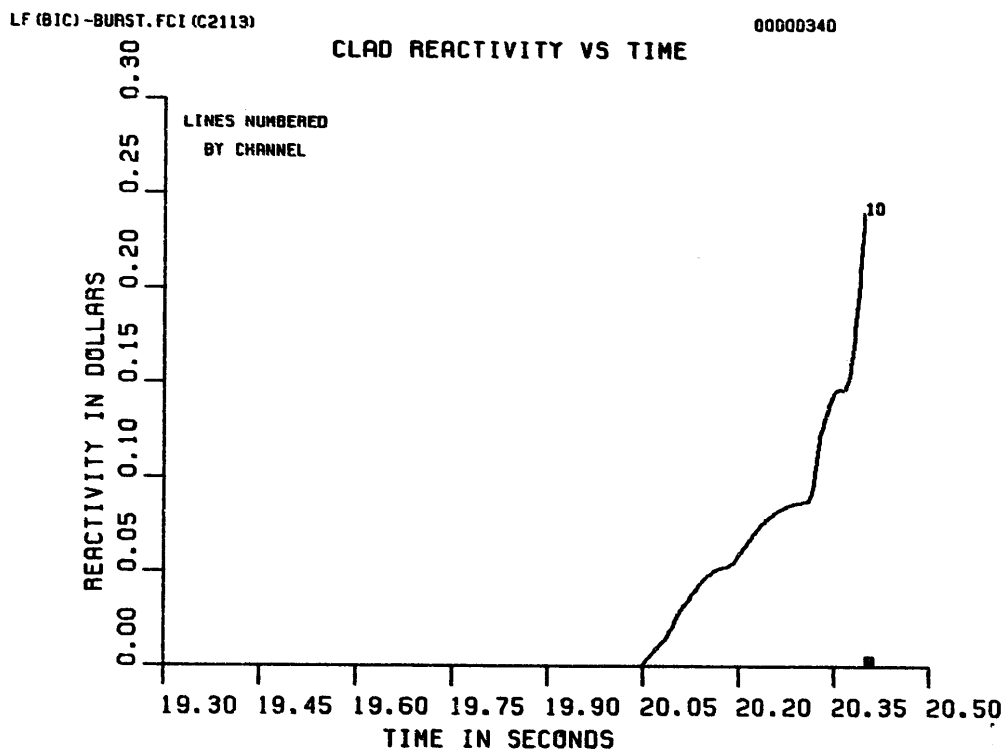
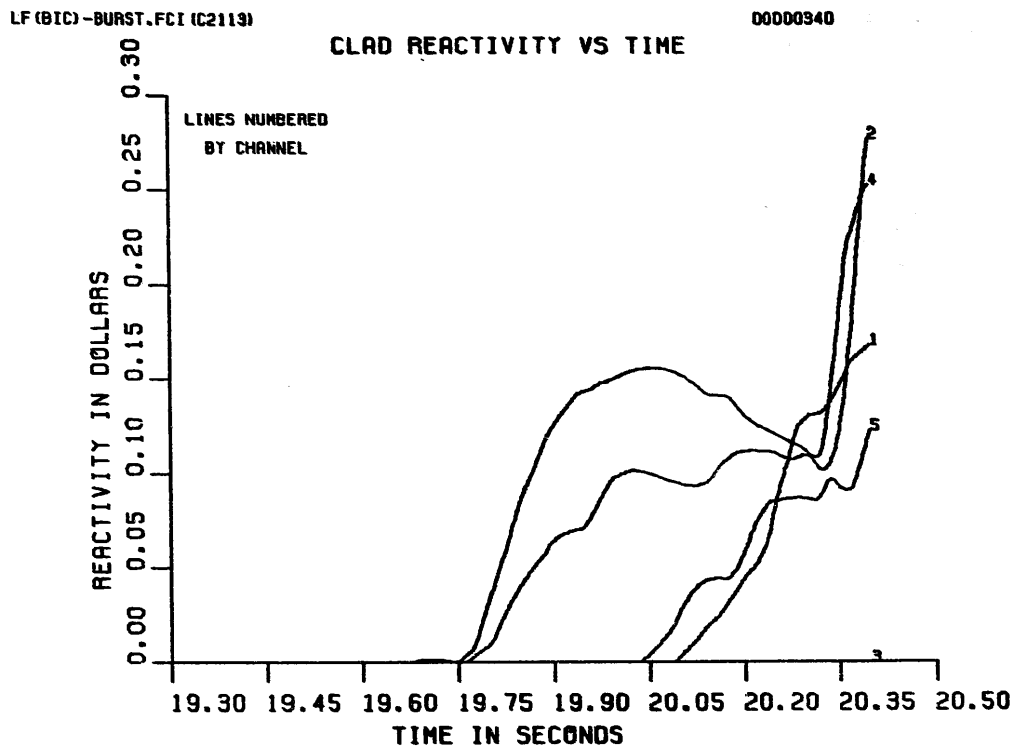
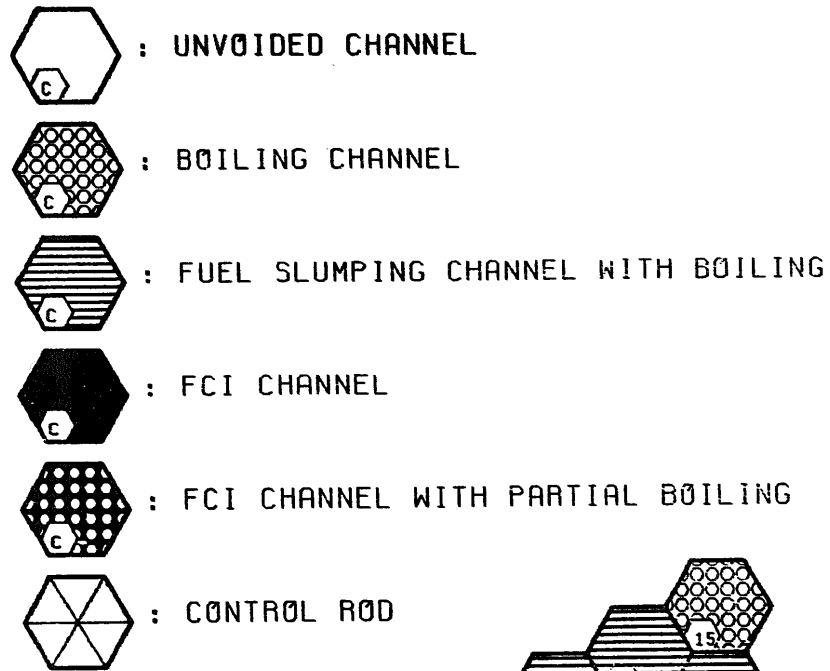
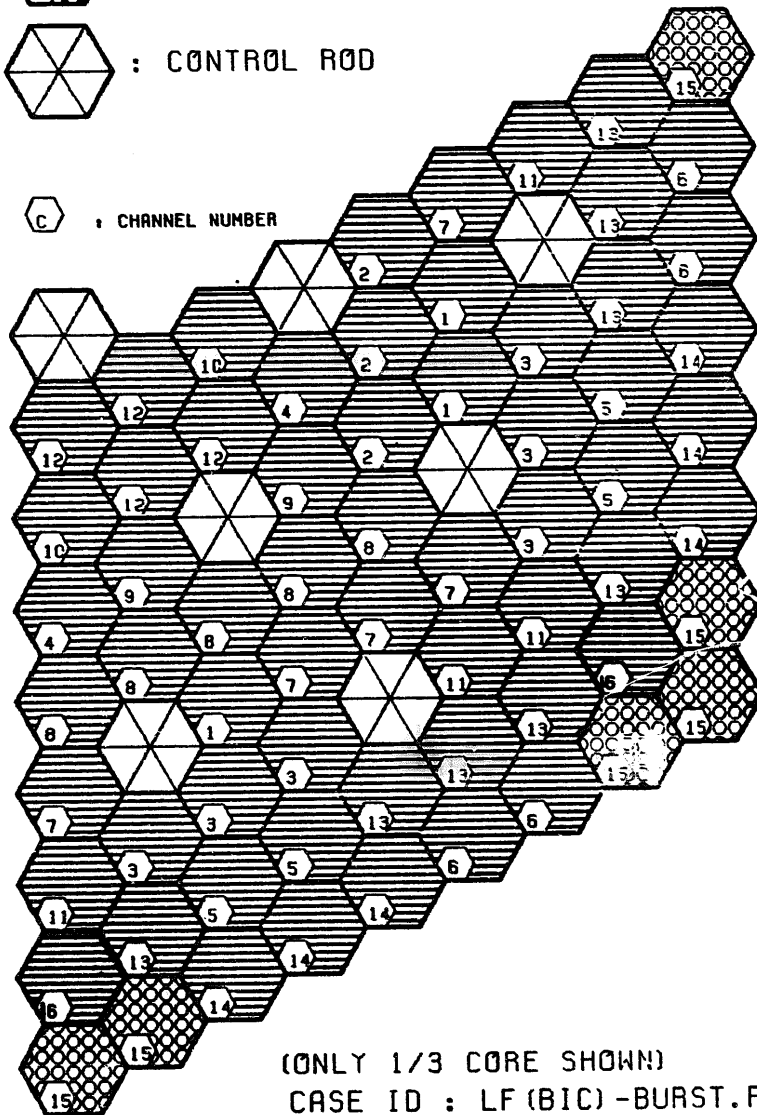


Fig.4.2-80 Cladding reactivity traces by channel for BOIC LOF
Case ID : LF.BURST.FCI.C2113



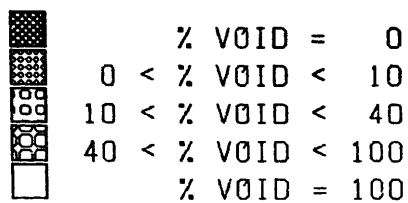
: CHANNEL NUMBER



(ONLY 1/3 CORE SHOWN)

CASE ID : LF (BIC) -BURST.FCI (C2113)

Fig.4.2-81 Core state at the end of initiating phase for BOIC LOF
Case ID : LF.BURST.FCI,C2113



LF.BURST.FCI (C2113) STP1200

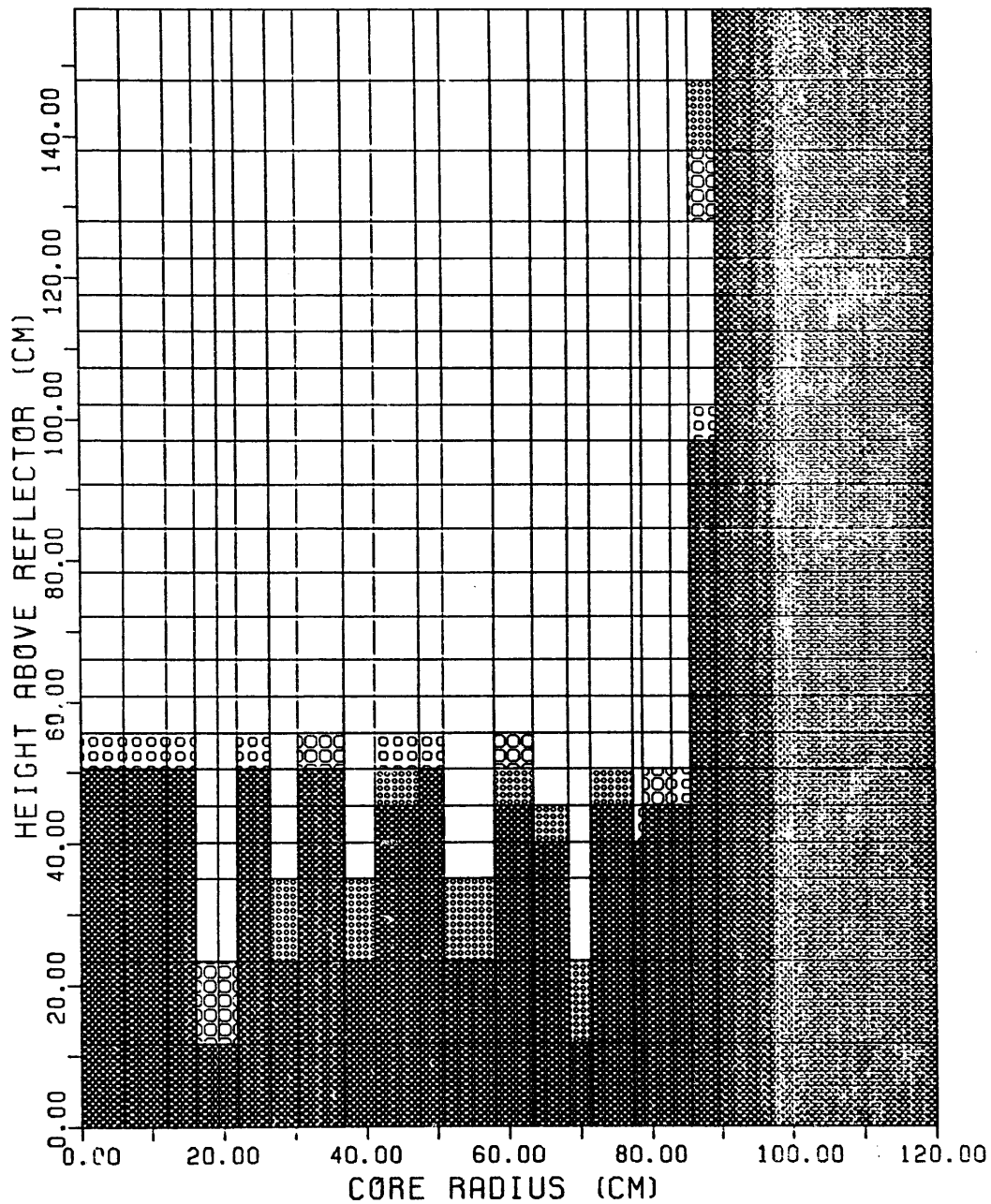
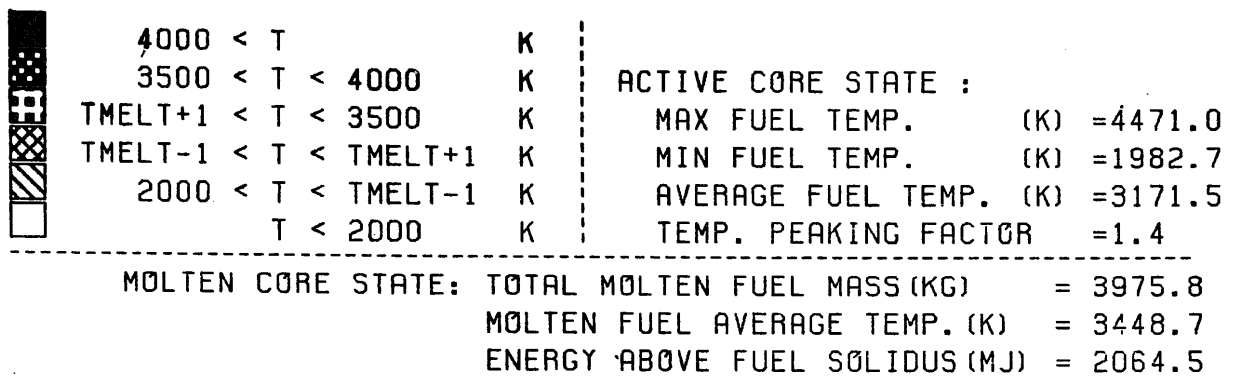


Fig.4.2-82 Coolant void distribution at the end of initiating phase for BOIC LOF, Case ID : LF.BURST.FCI.C2113



LF.BURST.FCI (C2113) STP1200

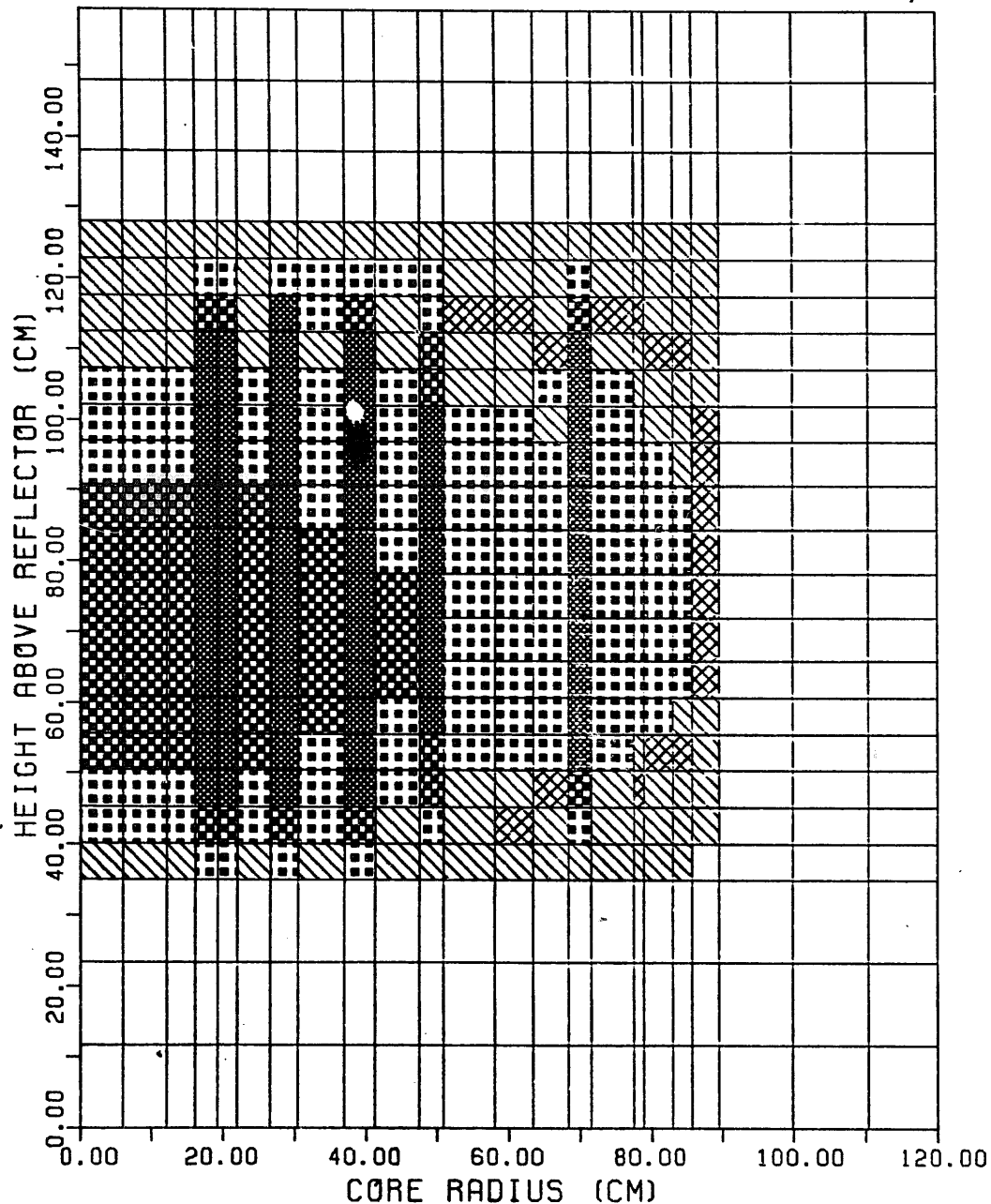


Fig.4.2-83 Fuel temperature distribution at the end of initiating phase for BOIC LOF. Case ID : LF.BURST.FCI.C2113

FUEL VAPOR WORK (AT ONE ATM) = 27.6 (MJ)
 FUEL VAPOR WORK (AT SLUG IMPACT) = 20.4 (MJ)

▲ — ▲ : FUEL VAPOR WORK ENERGY
 ○ — ○ : FUEL VAPOR PRESSURE

LF.BURST.FCI (C2113) STP1200

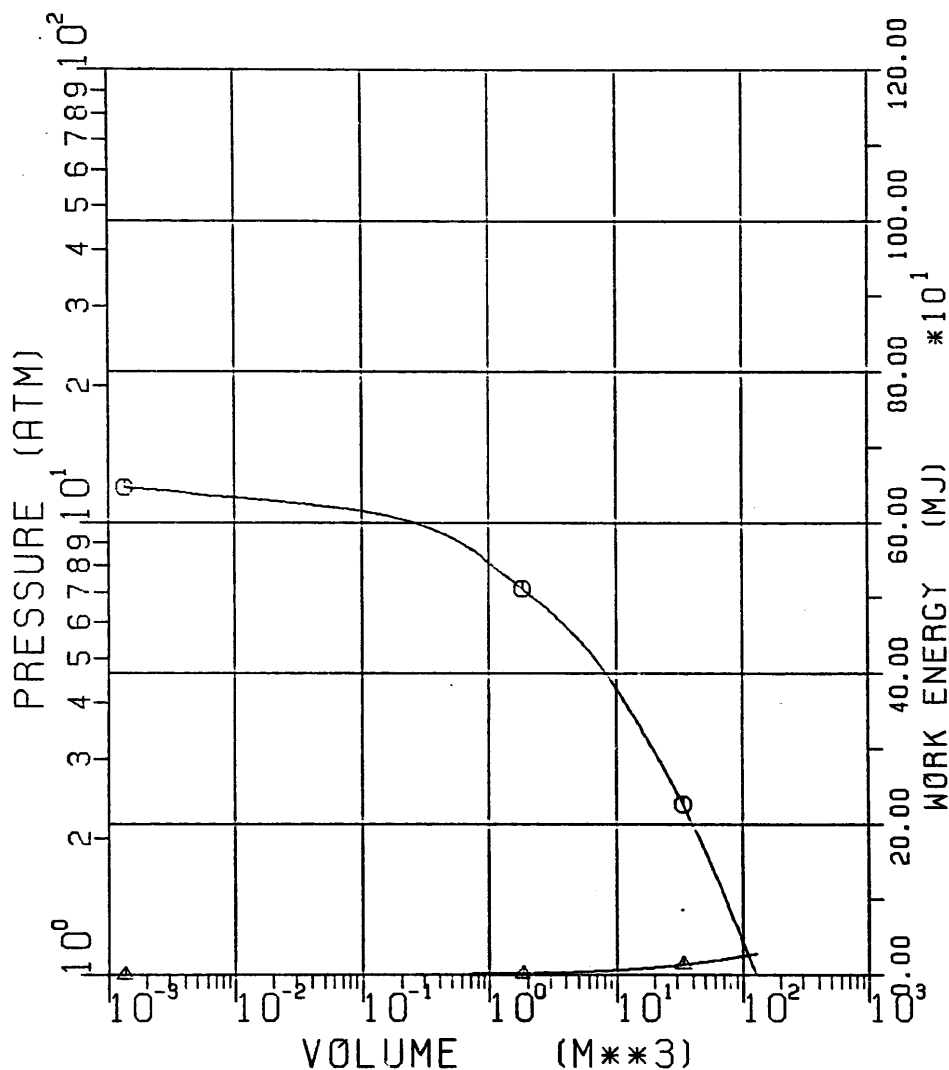


Fig.4.2-84 P-V curve and corresponding fuel vapor expansion work for the two phase fuel generated up to the end of initiating phase. Case ID : LF.BURST.FCI.C2113

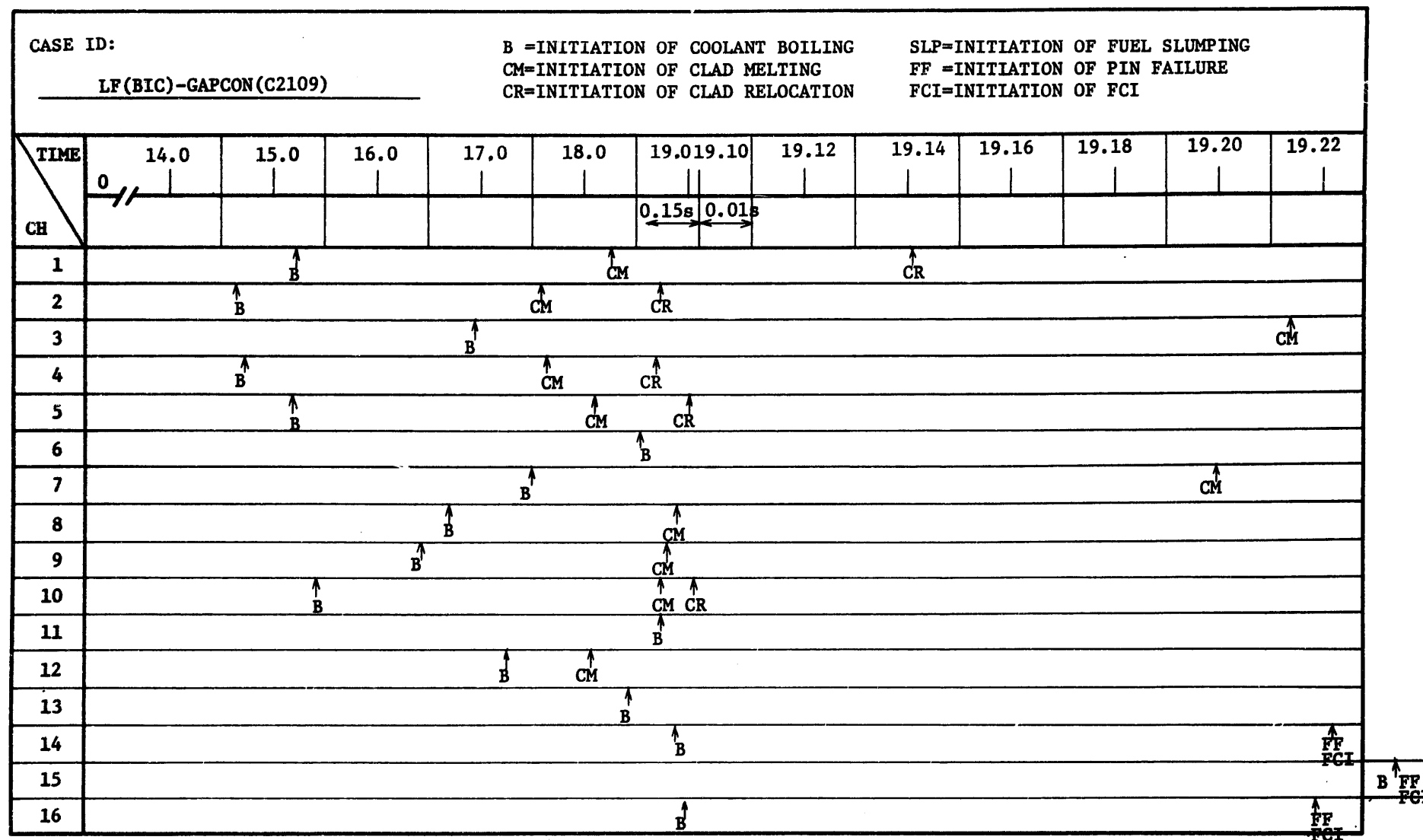


Fig. 4.2-85 Timing of events for BOIC LOF (LF.GAPCON.C2109)

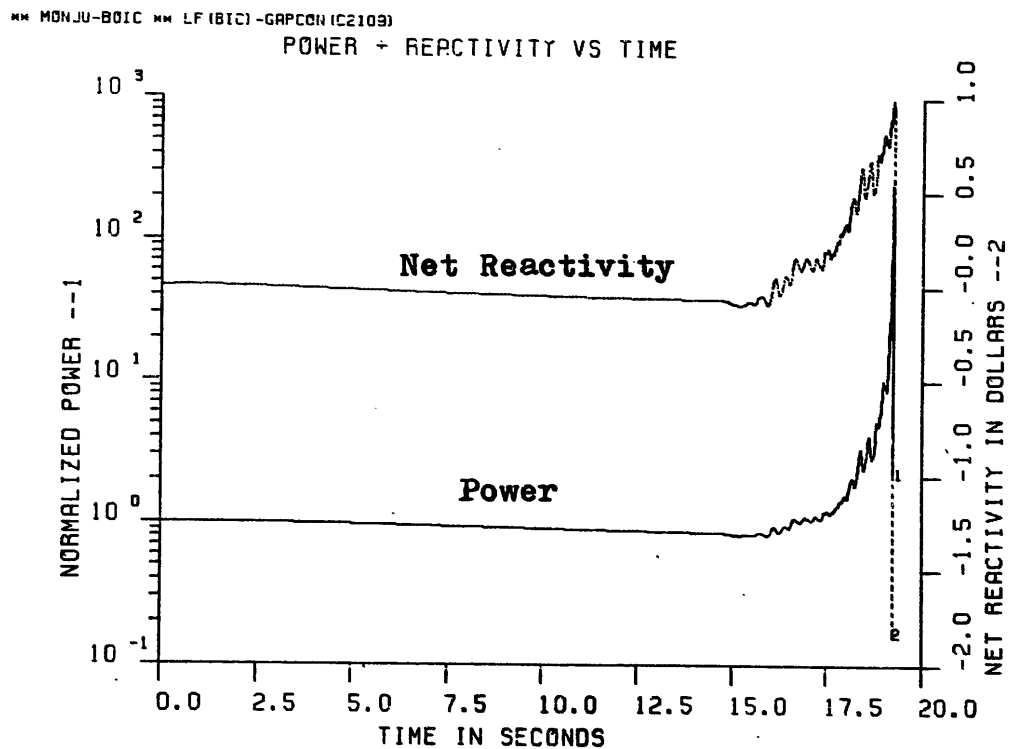
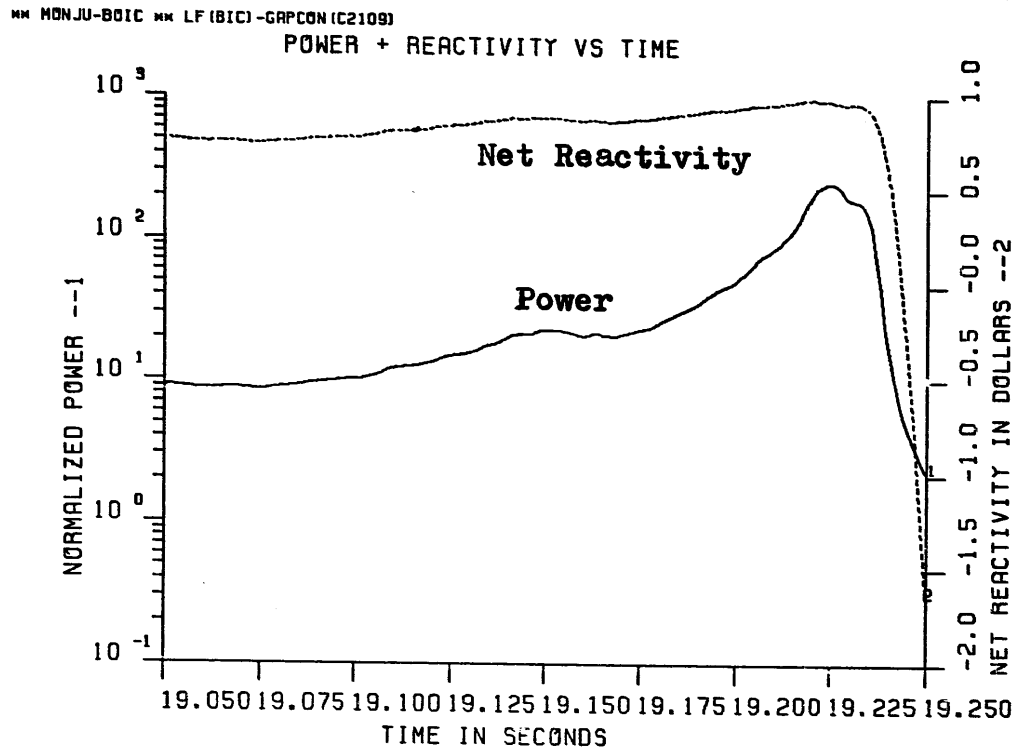
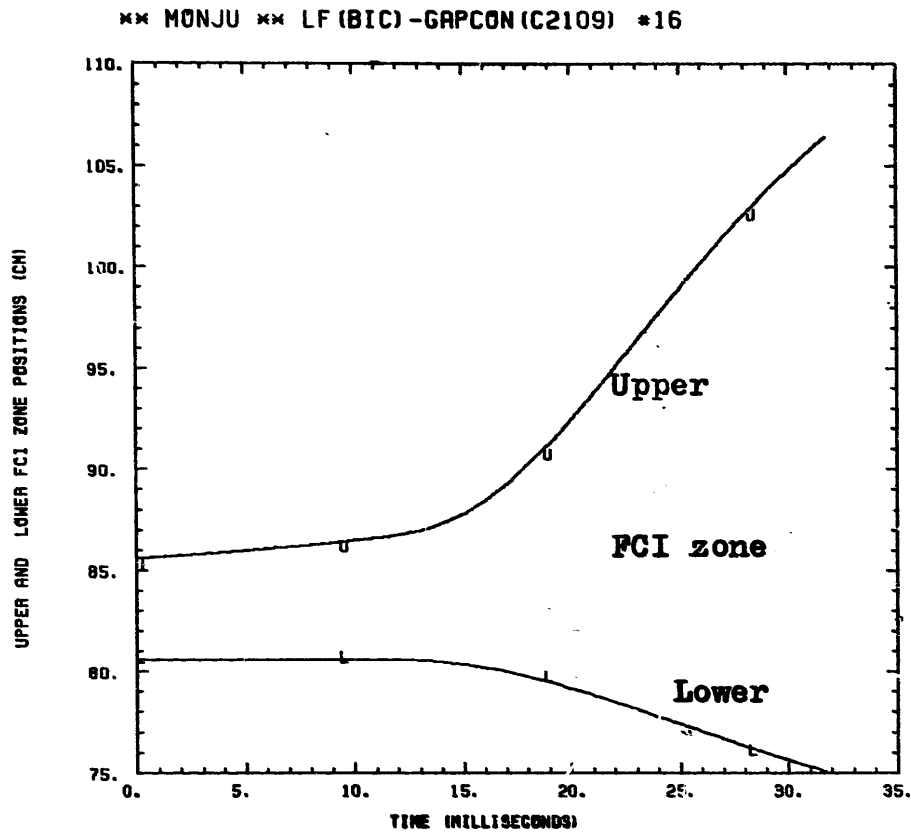


Fig.4.2-86 Power and net reactivity profiles for BOIC LOF
Case ID : LF.GAPCON.C2109



FCI Zone Growth in Channel 16 for BOIC LOF
(LF.GAPCON.C2109)

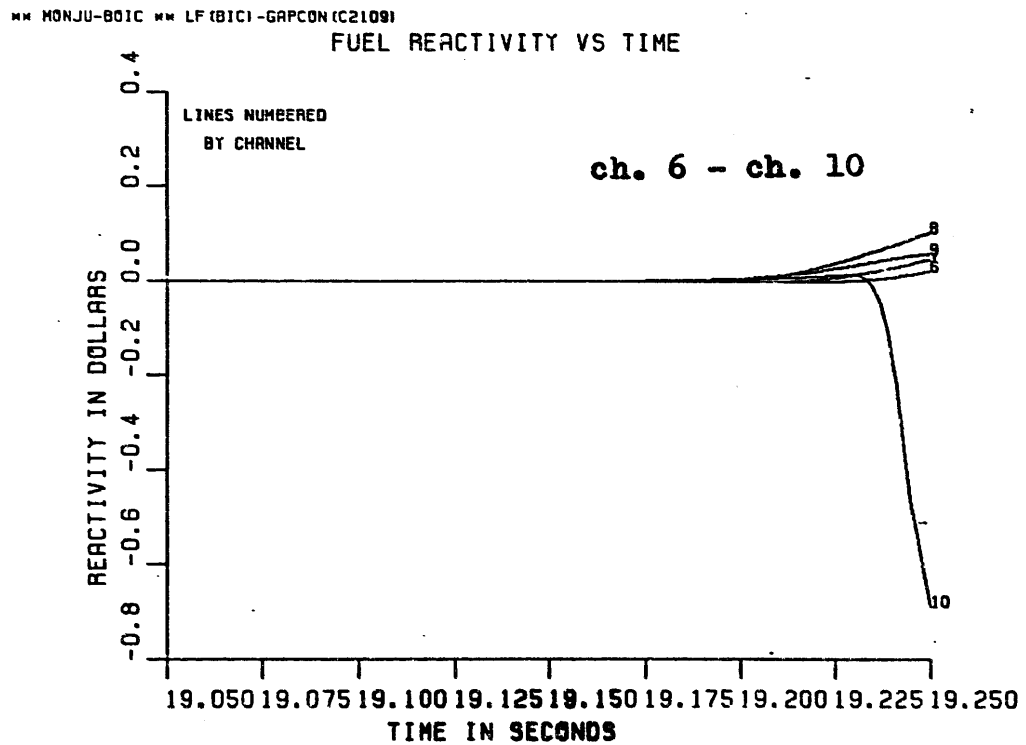
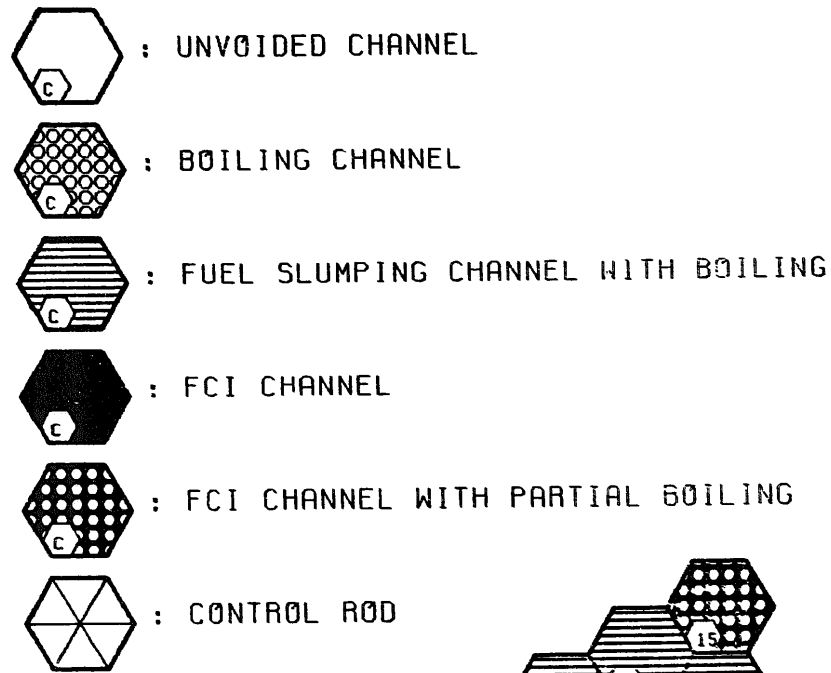
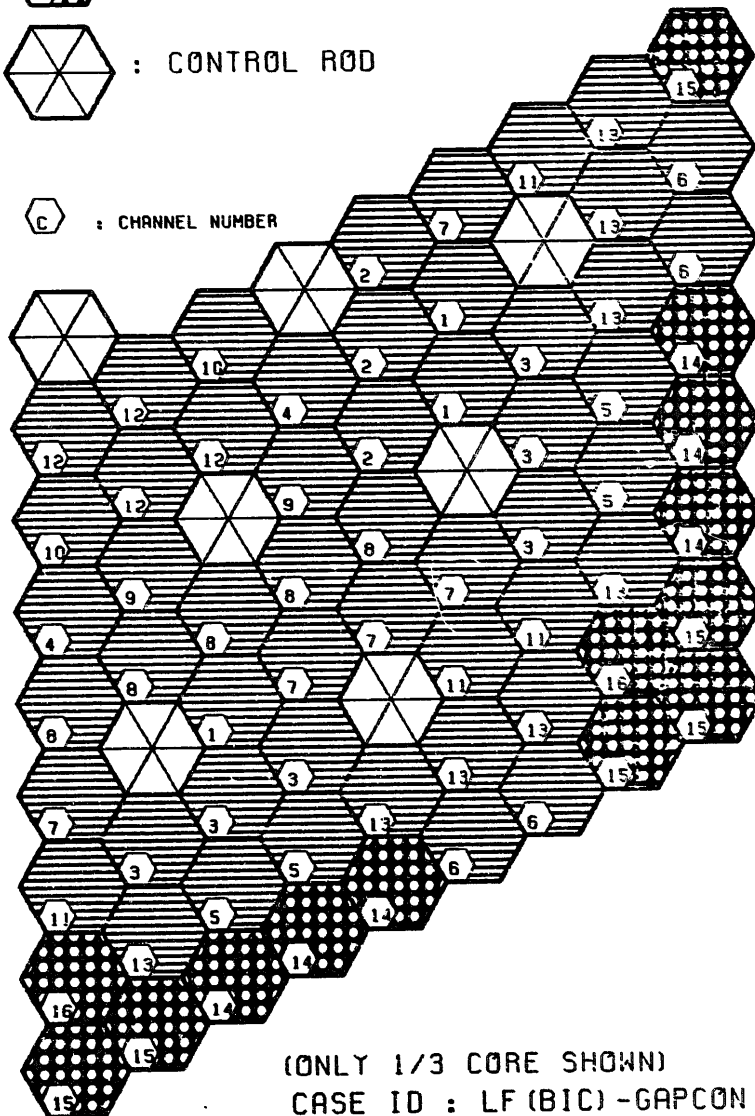


Fig.4.2-87 FCI zone growth in ch.16 and fuel reactivity traces in
ch.6-10 for LF.GAPCON.C2109



 : CHANNEL NUMBER



(ONLY 1/3 CORE SHOWN)
CASE ID : LF (BIC) -GAPCON (C2109)

Fig.4.2-88 Core state at the end of initiating phase for BOIC LOF
Case ID : LF.GAPCON.C2109

	4000 < T	K	ACTIVE CORE STATE :	
	3500 < T < 4000	K		MAX FUEL TEMP. (K) = 4511.2
	TMELT+1 < T < 3500	K		MIN FUEL TEMP. (K) = 2039.8
	TMELT-1 < T < TMELT+1	K		AVERAGE FUEL TEMP. (K) = 3258.8
	2000 < T < TMELT-1	K		TEMP. PEAKING FACTOR = 1.4
	T < 2000	K		

MOLTEN CORE STATE: TOTAL MOLTEN FUEL MASS (KG) = 4807.4
MOLTEN FUEL AVERAGE TEMP. (K) = 3472.2
ENERGY ABOVE FUEL SOLIDUS (MJ) = 2553.3

LF (BIC) - GAPCON.C2109.STP1069

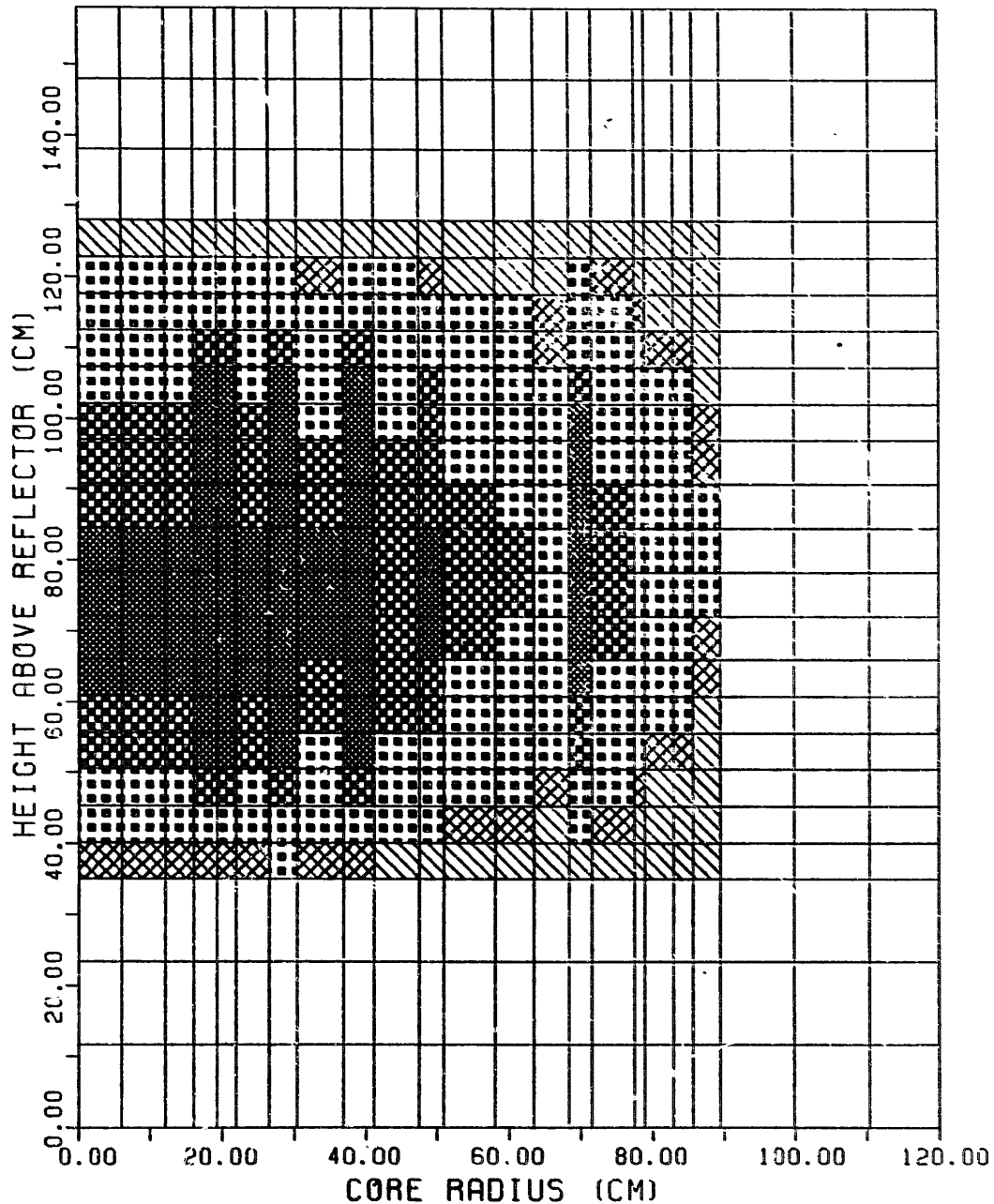
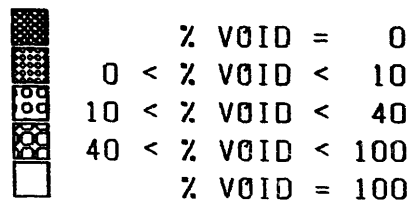


Fig.4.2-89 Coolant void distribution at the end of initiating phase for BOIC LOF. Case ID : LF.GAPCON.C2109



LF (BIC) -GAPCON.C2109.STP1069

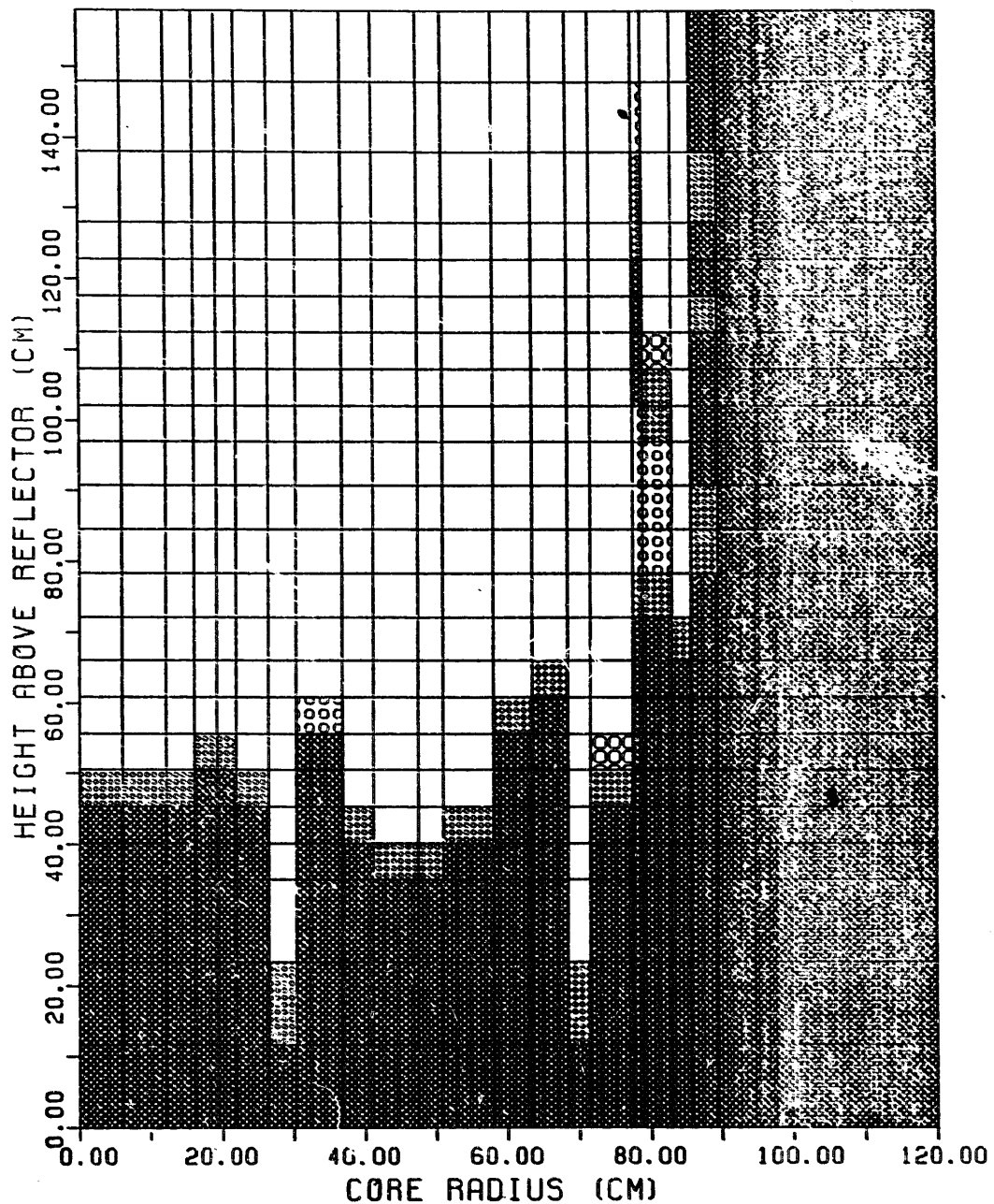


Fig.4.2-90 Fuel temperature distribution at the end of initiating phase for BOIC LOF. Case ID : LF.GAPCON.C2109

FUEL VAPOR WORK (AT ONE ATM) = 25.6 (MJ)
 FUEL VAPOR WORK (AT SLUG IMPACT) = 19.6 (MJ)
 —▲— : FUEL VAPOR WORK ENERGY
 —○— : FUEL VAPOR PRESSURE

LF (BIC) - GAPCON.C2109.STP1059

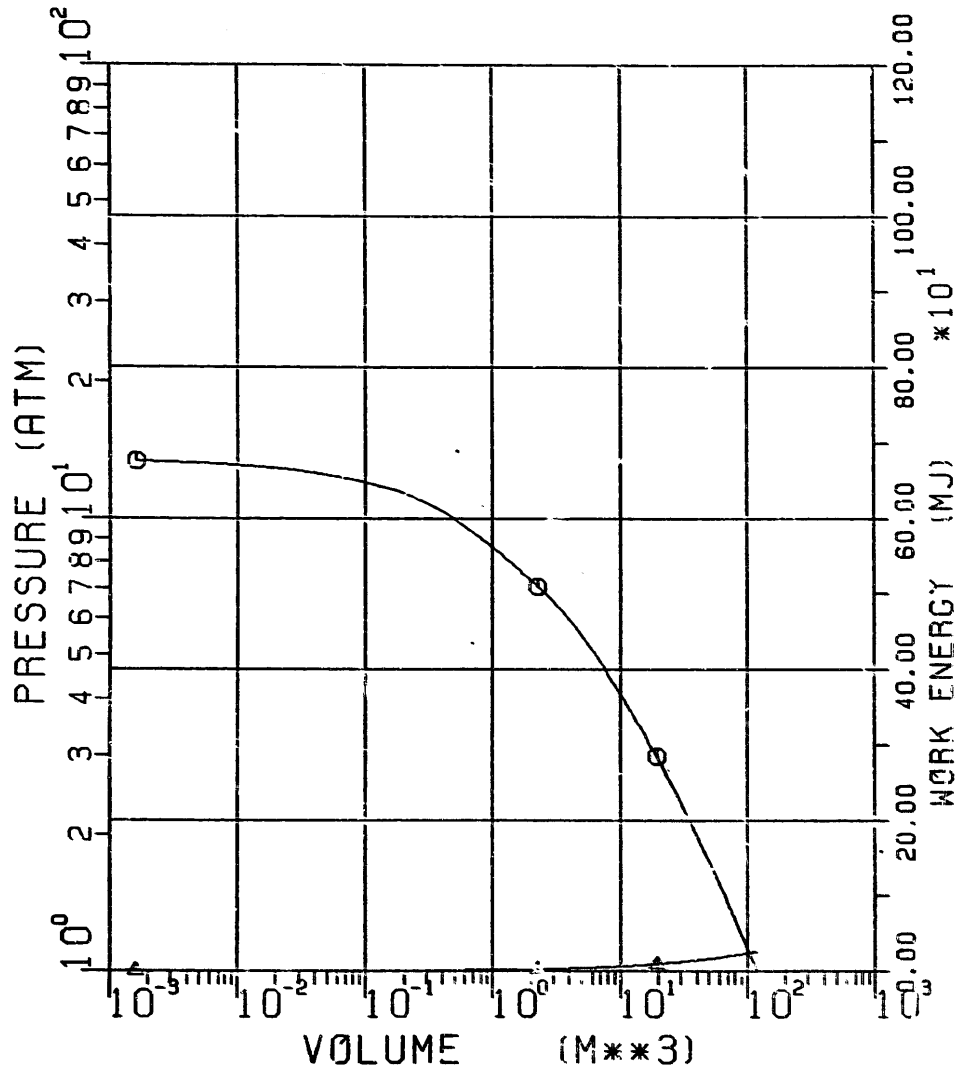
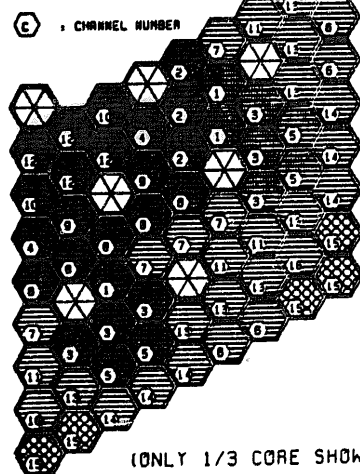
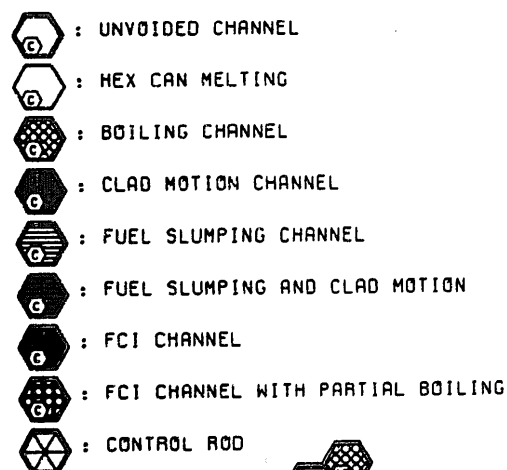
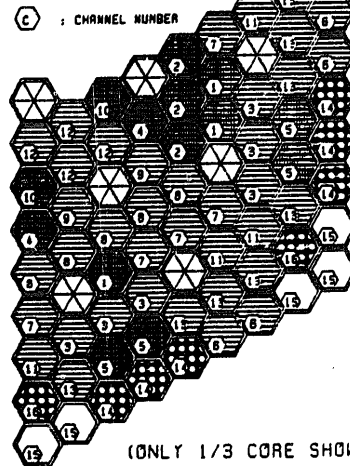
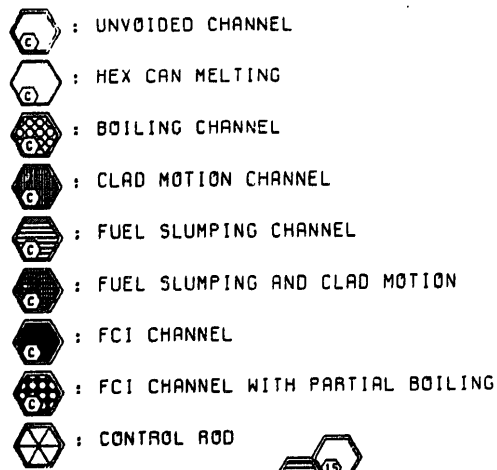


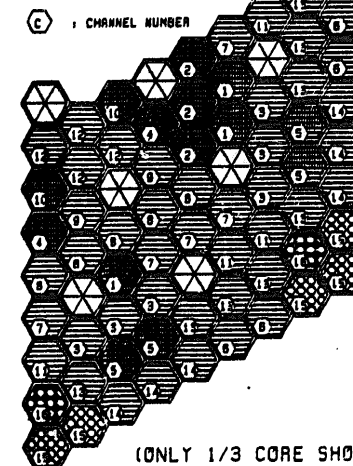
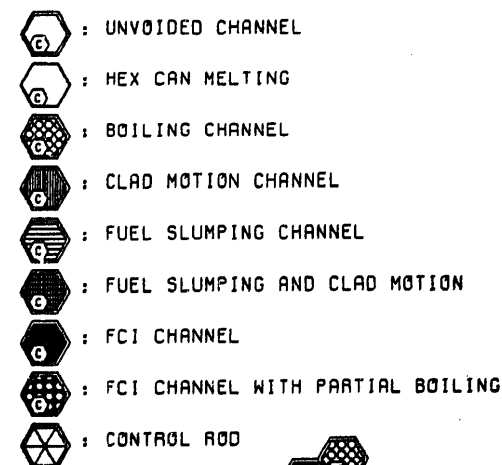
Fig.4.2-91 P-V curve and corresponding fuel vapor expansion work for the two phase fuel generated up to the end of initiating phase.
 Case ID : LF.GAPCON.C2109



(ONLY 1/3 CORE SHOWN)
 LOF (BIC) -C2100
 TIME =22.08927 (SEC) , STEP =1488
 NET REACTIVITY =0.91857 (DOLLARS)



(ONLY 1/3 CORE SHOWN)
 LOF (BIC) -C2108
 TIME =19.70453 (SEC) , STEP =1001
 NET REACTIVITY =0.97894 (DOLLARS)



(ONLY 1/3 CORE SHOWN)
 LOF (BIC) -C2107
 TIME =20.30403 (SEC) , STEP =1126
 NET REACTIVITY =0.97599 (DOLLARS)

Fig.4.2-92 The core states at the end of initiating phase are compared for LF.BE.C2100, LF.EXNRC.C2108, and LF.RP.C2107.

4.3 反応度挿入事故(TOP)

4.3.1 概 要

4.3 反応度挿入事故 (TOP)

4.3.1 概 要

TOP 事象の過程は① 制御棒誤引抜きなどによる正の反応度の挿入, ② 原子炉反応度の増大による原子炉出力の上昇, ③ 出力上昇による燃料温度の上昇, ④ 燃料溶融などに伴う燃料の破損, FCI の発生, (⑤ 出力暴走への移行), and/or ⑥ 燃料掃除による反応度の低下, and/or ⑦ Transition Phase への移行, ⑧ 永久的な事故後崩壊熱除去という事象展開を示すと考えられる。

従って, TOP 事象の基本的なパラメータは外部からの反応度挿入量及び燃料ピン破損条件を含めた FCI 事象である。燃料ピン破損条件と TOP 事象展開の関係は第 5.3 章に詳述したので参照されたい。

本解析では後述するように基本的なケースでは出力暴走とはならないことが示されたが, 更にこの結果を裏付けることを目的としたパラメータ解析を実施した。また, 不確かさの大きいギャップコンダクタンスについてのパラメータ解析も実施した。各ケースに対する発生確率の定性的なカテゴリーについては第 5.1 章を参照されたい。

第 3 章及び Table 4.3.1 に各ケースの基本的な解析条件を, また以下に各ケースの ID 番号及び概要について記す。

〔基本ケース〕

- ① TP (BIC) -BE (C3100): 最適パラメータケース (BE ケース)

〔もんじゅ炉心の最適パラメータを選定したケース〕

- ② TP (BIC) -EXNRC (C3103): NRC 選定パラメータケース (EXNRC ケース)

〔NRC が選定した基本パラメータを使用したケース〕

〔パラメータ解析ケース〕

- ③ TP (BIC) -RP (C3101): パラメータ解析基準ケース (RP ケース)

〔パラメータ解析の基準としたケース〕

FCI に関するパラメータ解析

- ④ TP (BIC) -LRIP, FCI (C3106)

〔初期 FCI 領域を RP ケースの 6 倍 (30cm) として FCI 事象を激しくさせ, 挿入される正の反応度を保守側に見つめるケース〕

- ⑤ TP (BIC) -LRAD, FCI (C3107)

〔FCI 領域の燃料粒子半径を RP ケースの約 2 倍の 250 μm とし, CRBRP の PSAR と同じ値を用いたケース〕

⑥ TP (BIC) - FCI (C3105)

FCI開始条件をRPケースの50%燃料ペレット断面溶融割合から75%に変更し、FCIの開始を遅らせることにより、より激しいFCI事象を期待したケース

ギャップコンダクタンスに関するパラメータ解析

⑦ TP (BIC) - GAPCON (C3104)

不確かさ幅の大きいギャップコンダクタンスに関し、ホットチャンネルの定格時設計最小値である $714 \text{ Btu/hr ft}^2 \text{ } ^\circ\text{F}$ を一律に使用し、定常時に燃料の保有するエネルギーを保守側に変えたケース

Table 3. 3. 1 に上記各ケースの主要なパラメータの比較を、また Table 4. 3. 1 に各ケースの主要な結果の比較を併記した。

本解析で実施した上記のパラメータ解析から、燃料ピンの破損基準として50%溶融割合を想定すると、初装荷炉心のTOP事象ではいずれのケースでも原子炉反応度が十数%の附近でFCI発生条件を満足するが局所的なFCIのみに留まり、即発臨界に到らないことが示された。初装荷炉心では局所的なFCIに伴う燃料の炉心部からのsweepoutにより未臨界となり、原子炉出力も定格時の2～4倍程度までしか増大せず、起因事故末期の溶融燃料量もLOF事象の1/5～1/3程度である。

従ってこのような条件下に於ける初装荷炉心のTOP事象では放出燃料による流路閉塞が著しく進展しなければ炉心の大規模な破損が生ずる以前に起因過程は永久的な炉停止状態へ移行する(Early Termination)可能性が大きいと考えられる。

一方、何等かの原因によって燃料破損が遅延した場合は、炉心内の溶融燃料量は急速に増大する。このため、このような状態でピン破損が生じた場合は最初のFCIによる出力上昇により他の集合体へピン破損が伝播し、より広範な炉心溶融を生じ炉心崩壊過程、あるいは遷移過程へ移行する可能性もある。従って、反応度挿入事故では燃料ピン破損条件は事故の進展に最も重大な影響を与えられ、今後、破損条件と事象進展の関係をより詳細に明らかにする必要がある。

本解析の範囲では冷却材流路へ放出された燃料の再固着の挙動評価、及び冷却可能形状の確保に関する評価は行っていない。海外のTOP解析に於いても単一集合体に於けるplating⁵²⁻⁵⁵⁾、あるいはblockage形成¹²⁾に対する評価が行なわれているに過ぎず、全炉心解析に於ける冷却可能性の検討は未だ初歩的な段階にある⁵⁾。従って、TOP起因過程以降の炉心挙動評価は今後の大きな課題である。

4.3.2 基本ケースの解析(TOP)

4.3.2 基本ケースの解析

(1) 最適パラメータ (BE ケース) の解析

BE ケース (C3100) の事象シーケンスを Table 4.3.2 及び Fig. 4.3.1 に原子炉出力及び全反応度の変化を Fig. 4.3.2 に、各成分反応度の変化を Fig. 4.3.3 と Fig. 4.3.4 に示す。

本解析で TOP の起因事象として想定した定格出力運転中の制御棒引抜 ($2\phi/\text{sec}$ 反応度連続挿入) が発生すると原子炉出力が Fig. 4.3.2 に示すように徐々に上昇する。このため、炉心の除熱バランスが崩れ、燃料の温度上昇、更には冷却材、被覆管の温度上昇が生じる。

BE ケースでは燃料温度上昇に伴い、Fig. 4.3.3 に示すようにドブラー効果及び燃料密度変化による負の反応度フィードバック効果により原子炉全反応度の増大は徐々に緩やかになる (平均全反応度挿入率は $0.2\phi/\text{sec}$ 程度)。しかし原子炉出力は指数関数的に上昇し、やがて燃料溶融燃料破損に到ることになる。

Table 4.3.2 及び Fig. 4.3.1 に示すように BE ケースでは事故発生後 80 秒で出力/流量比の大きい第 4 チャンネル (第 2 流量領域) の炉心中心面上附近 (出力ピークノード) で最初に FCI 条件 (燃料ペレット断面溶融割合 50%) を満足する。この時点での全反応度は約 13ϕ 、原子炉出力は定格の約 3.4 倍となっている。尚、FCI に先立ち、事故後約 70 秒附近で冷却材反応度及び出力の増大が生じている (Fig. 4.3.2) が、これは、燃料クラックの発生により*、冷却材への熱伝達が良くなるためと思われる。

Fig. 4.3.5 及び Fig. 4.3.6 に冷却材反応度変化を、Fig. 4.3.7 に燃料反応度変化を示した。又、Fig. 4.3.8 に Ch. 12 に対する FCI 領域の拡大進展の様子を、Fig. 4.3.9 に冷却材中へ放出された燃料量、及び温度の時間変化を示した。

第 4 チャンネルで最初に FCI が発生すると、燃料粒子から冷却材への急激な熱移行が生じ、Fig. 4.3.6 に示すように正の冷却材反応度が挿入される。また、約 80 msec 遅れて、出力の高い炉心最内層 (第 1 流量領域) で第 12 チャンネル、第 10 チャンネルの順で FCI が発生 (Table 4.3.2, Fig. 4.3.1) する。この結果、Fig. 4.3.6 に示すように冷却材ボイド反応度値が正值を持つ炉心内側附近で FCI が発生するために、正のボイド反応度が挿入される。しかし、その値は高々数 ϕ 程度 (原子炉反応度の最大は約 15ϕ) であり、出力の増大もわずか (Table 4.3.1) であることから上記チャンネルの破損に伴う出力上昇では広範な燃料破損には拡大せず出力暴走状態には移行しない。

注) * SAS 3D のモデルでは燃料溶融キャビティ内圧が一定値 (18 気圧を入力) 以上となるとクラックが入り、ギャップが閉じてギャップ体積分だけキャビティ体積が増大する。

Fig. 4.3.8 と Fig. 4.3.9 に炉心最内層の第12チャンネルのFCI挙動を示す。FCI領域は約50 msecで炉心上端附近まで拡大し、約200 msecで集合体出口に到達する。このためFCIに伴う冷却材沸騰によりボイドが冷却材領域に拡大する時には正反応度が投入されるが、FCI領域が負ボイド係数を持つ領域まで拡大すると投入反応度量は減少する。本ケースでは放出燃料量が少ないため、相互作用領域の圧力が低くFCI領域下端は常に破損口下端と一致している。

一方、FCI領域の拡大につれて燃料も分散されるため、燃料移動によりFig. 4.3.7に示すような負の反応度が挿入され(fuel sweepout)、この値は冷却材反応度効果よりはるかに大きくなる。燃料のsweepoutにより -30% 程度の負反応度が投入されるため起因過程は核的な炉停止状態へ移行する。BOICでは溶融キャビティ内にFPガスが存在しないため、燃料放出の駆動圧は初期封入ガスの熱膨張圧のみである*。このため、冷却材中への燃料放出量は少なく投入負反応度量は平衡炉心より小さい。又、放出燃料量が小さいため、fuel compactionによる正反応度投入は程んど認められない。

Fig. 4.3.10～4.3.12に核的終息状態に於ける燃料破損状態、炉心燃料温度分布、及び炉心ボイド分布を示した。起因過程末期の炉心のボイド率は約5%、燃料溶融割合は24%（溶融量1598 kg）、融点以上の燃料内部エネルギーは427 MJとなっている。

以上述べた様に本ケースでは $2\%/sec$ の反応度投入によって第1流量ゾーンを中心とする集合体（全炉心の12%）で燃料ピンが破損し、FCIが生ずる。しかし、冷却材中への燃料放出量が小さいためFCIによる出力上昇では他の集合体のピン破損を誘発することはできず、fuel sweepoutによって起因過程は一時的な炉停止状態に移行する。起因過程終息時の全反応度は約 -0.3% に達しているが炉心の約 $1/4$ が溶融している。一時的な炉停止到達以降も制御棒が引きぬかれている限り外部反応度の投入は持続する。従って流路閉塞（放出燃料の固着等によると考えられる**）などが著しく進展せず冷却条件が確保されていれば永久的な炉停止状態へ移行する可能性は大きい。冷却除熱が確保されない場合は炉心流量減少事故と同様遷移過程へ移行する可能性も存在する。

(2) NRC選定パラメータケース（EXNRCケース）の解析

EXNRCケース（C3103）はLOFの場合と同様に、NRCが選定したパラメータを用いた場合のもんじゅ炉心のTOP挙動を評価する目的で解析した。

* SAS/FCIモデルではキャビティ圧力として燃料蒸気圧を考慮していない。仮に燃料蒸気圧を駆動力として燃料が放出された場合は、fuel sweepoutによる負反応度効果が強調されと考えられる。

** 冷却材中への燃料放出量は3炉心（BOIC, BOEC, EOEC）中最少であるため、fuel platingの確率は最も小さい。

EXNRC ケースの事象シーケンスを Table 4. 3. 3 に、原子炉出力及び全反応度の変化を Fig. 4. 3. 13 に、各成分反応度の変化を Fig. 4. 3. 14, 15 に示した。

EXNRC ケースでは BE ケースで考慮した燃料密度反応度効果を無視した。このため、原子炉出力の上昇が早まるために燃料破損は約 18 秒早まり、事故発生後約 61. 4 秒で第 4 チャンネルの FCI がおこる。

この時点での原子炉反応度は約 15 $\%$ 、原子炉出力は定格時の約 3. 4 倍であり、BE ケースを若干上回る程度であることから TOP のように緩やかに出力が上昇するような場合には燃料の破損する可能性が高くなるのは事象の維持時間よりも、むしろ出力レベル（初装荷炉心でも定格の約 3. 4 倍の出力）に依存すると考えられる。

最初の第 4 チャンネルでの FCI のあとに BE ケースと同様に第 12, 第 10 チャンネルの順（Table 4. 3. 3）に FCI が発生するが、出力上昇速度が BE ケースよりも大きいため遅れ時間は約 0. 07 秒と BE ケース（約 0. 08 秒）よりも若干短くなる。又、Ch. 10 で FCI が発生した後 100 msec 以上遅れて Ch. 2 でも FCI が発生する。

Fig. 4. 3. 16 に冷却材反応度変化を、Fig. 4. 3. 17 に燃料反応度変化を示した。

EXNRC ケースでは FCI 条件として燃料と冷却材との瞬時混合を想定しているため、混合瞬時数 10 msec を想定した BE ケースとの差異は冷却材反応度挙動に最も強く反映すると考えられる。ところが Fig. 4. 3. 16 に示した様に両者に対する名 FCI チャンネルの反応度挿入率及び最大反応度投入量には顕著な差異は見出されない。又、燃料移動反応度、及び Fig. 4. 3. 18, 19 に示した FCI 領域変化と放出燃料量の時間変化にもほとんど差異がない。この様に本ケースと BE ケースの反応度挙動がほとんど一致した原因は、冷却材中への放出燃料量が小さい（平衡炉心の $1/3 \sim 1/10$ 程度）ことにあると考えられる。しかし、BE ケース同様、本ケースに於いても最大到達反応度が 0.16 $\%$ 、最大比出力が 3.4 P_0 を示した後、FCI を生じた集合体の fuel sweepout によって、起因過程は一時的な核的終息状態へ移行する。

Fig. 4. 3. 21 ~ 23 に核的炉停止状態（ $T = 61.7 \text{ sec}$ $\rho_{\text{net}} = -0.4 \%$ ）に於ける燃料破損状態、炉心燃料温度分布、及びボイド分布を示す。上記時刻では炉心の 17 $\%$ の集合体で FCI を生じ、ボイド率 5 $\%$ 、燃料熔融割合 24 $\%$ 、融点以上の内部エネルギーは 434 MJ を示している。従ってこれ等の炉心状態は BE ケースの結果とほとんど一致しており、燃料膨張の効果、あるいは FCI モデルパラメータ等の差異は起因過程末期の炉心に全く反映しないことが結論される。

この結果、EXNRC ケースにおいても起因事故段階での出力暴走は起り得ず、燃料破損も炉心中心附近の局所的な領域に限定されるため放出燃料による流路閉塞が著しく進展しなければ起因過程は永久的な炉停止状態へ移行すると考えられる。

(3) 基本ケース解析の結論

B E ケース及び EXNRC ケースの解析から、TOP 事象では緩やかな出力上昇がおこるが、冷却材流量は定格流量が確保させているために燃料破損は事故発生後約 1 分以降に生ずる。この間に原子炉トリップ動作がなされなければ燃料の溶融や破損が生じることになる。

TOP 事象では燃料破損が起きやすいのは出力の高い炉心中心附近であり、また燃料破損が生じた場合冷却材が存在しているために FCI が発生する。しかし燃料破損時の出力レベルは定格出力の 3 ～ 4 倍程度と低いために LOF 事象よりも破損の非同時性が大きくなる。また、FCI により燃料が炉心領域から掃除され、炉出力上昇が抑制されるために破損が局所的な段階で原子炉は未臨界となる。このため原子炉反応度は最大で 15% 程度にしかならず、出力暴走とはなり得ない。

BOIC の初期定常状態に於けるギャップコンダクタンスは平衡炉心に比べ 30 % 以上大きい。このため、燃料ピン破損時刻が約 20 ～ 30 秒近く遅延する。又、径方向出力分布が平坦であり、このためピン破損条件として燃料溶融割合を想定するとピン破損時の炉心熱エネルギーが平衡炉心の 5 倍程度増大する。

しかし、BOIC では燃料ピン内に FP ガスが存在しないため、燃料ピンが破損しても冷却材中へ放出される燃料量は平衡炉心の 1/3 ～ 1/10 程度に留まる。このため、炉心の十数%の集合体が FCI を生ずるが、これによる炉出力上昇は小さく、燃料破損が全炉心に及ぶことなく、fuel sweepout によって起因過程は終息する。

最終炉心内には約 450MJ (above solidus) の燃料内部エネルギーが蓄積され、炉心の約 25 % が溶融状態 (solidus) にある。更に放出燃料量が少ないことに起因して終息状態の負反応度挿入量は -30% 程度と平衡炉心の 1/4 程度に留まる。従って、coolable geometry が確保されている場合は永久的な炉停止状態へ移行する可能性が大きい。放出燃料の固着等による流路閉塞が発生し、更に制御引き抜きが持続した場合は炉出力が再び上昇するので炉心崩壊過程、あるいは遷移過程に移行する可能性は否定できない。

一般に反応度挿入事故では燃料破損による FCI 現象により事象展開は重大な影響をうけると考えられる*。即ち、燃料破損初期の FCI 挙動が激しければこれによる出力上昇のため破損伝播が生じ、特に、ピン破損時刻が遅延した場合は FCI による反応度効果が全炉心的な燃料破損を導く可能性がある。この様な観点から、次章では FCI モデルパラメータ、及びピン破損基準に注目してパラメータサーベイを実施した結果を記述する。

*) 溶融燃料が冷却材中へ放出され引きつづき FCI が発生する過程を記述するモデルの相異に依存して、unvoided channel の反応度挙動は大きな差異を生ずる。SAS/FCI では fuel cavity 内の燃料移動のとりあつかいが超保守的な評価を与えることが SAS/EPIC あるいは PLUTO 2 との比較から指摘されている^{11,52)}。

4.3.3 パラメータ解析(TOP)

4.3.3 パラメータ解析

前節で述べた基本ケースの解析結果から初装荷炉心の TOP 事象では出力暴走には到らない可能性が大きいことが示された。ここではこの結果を裏付けることを目的としたパラメータ解析を 5 ケース実施した。以下に各ケースの解析結果を述べる。

(1) パラメータ解析基準ケース (RP ケース) の解析

パラメータ解析の基準としてここでは LOF 事象の場合と同様に CRBRP の PSAR に記載された基準ケースのパラメータを選定した。TOP 事象に関するパラメータのうち、EXNRC ケースと RP ケースとの主要な相違は FCI 時の混合時定数である (EXNRC ケースは瞬時混合, RP ケースは 10 msec)。

TOP 事象の RP ケース (C 3101) の事象シーケンスを Table 4.3.4 に、原子炉出力及び全反応度の変化を Fig. 4.3.24 に示す。又、Fig. 4.3.25 に各成分反応度変化を、Fig. 4.3.26, 27 には冷却材、及び燃料反応度変化を示した。計算終了時点 (時故後 61.43 秒) での炉心状態について、Fig. 4.3.29 に燃料集合体毎の状況を、Fig. 4.3.30 に燃料温度分布を、Fig. 4.3.31 に冷却材ボイド分布を示す。

RP ケースの事象進展は最初の燃料破損 (FCI) までは EXNRC ケースと同一である。このため、最初の FCI は EXNRC ケースと同様に事故後約 61.4 秒で第 4 チャンネルより生じる。

FCI 開始後、RP ケースでは燃料と冷却材との混合時定数を 10 msec としているために、瞬時混合を想定した EXNRC ケースよりも FCI 時に冷却材への熱移行は少なくなるはずであるが、放出燃料量が小さいため両者の間に顕著な差異はない。Ch. 4 の燃料ピン破損後約 55 msec で Ch. 12 の FCI が発生し、更に 15 msec 後に Ch. 10 のピン破損が生ずる。これ等の値は EXNRC ケースよりもわずかに (~ 1.5 msec) 早くなり、fuel sweepout による負反応度投入が早期化するため Ch. 2 の燃料ピン破損は発生しない。

Fig. 4.3.26 及び Fig. 4.3.27 に示す様に冷却材反応度と燃料反応度は EXNRC ケースに良く似た挙動を示し、本ケースの起因過程は fuel sweepout によって一時的な炉停止状態へ移行する (全反応度は -0.35β)。RP ケースの最大出力は定格時の約 3.44 倍、最大反応度は約 16ϕ となり、又、最終炉心の燃料溶融割合は約 26 %、燃料内部エネルギーが 430 MJ と、EXNRC ケースの結果とほとんど一致する。

これ迄に述べた TOP 事象の基準的な 3 つのケース (BE ケース、EXNRC ケース及び RP ケース) の解析結果から、もんじゅ初装荷炉心の TOP 事象では起因事象段階において即発臨界をこえるようなことはないことが示された。

また、燃料破損も局所的なものであることから、いわゆる Early Termination の可能性が強いと考えられるが、溶融燃料の流路への再固着が進展した場合は LOF 事象と同様に

Transition Phase へ移行する場合もあり得る。

(2) LRIP, FCI ケースの解析

LRIP, FCI ケース (C3106) は基準ケース (RP ケース) よりも FCI 事象を激しいものとするため FCI の rip length を 30 cm, rip area を 0.6 cm^2 とそれぞれ RP ケースの 6 倍に想定し, FCI による反応度効果を増大させた場合について検討したものである。

LRIP, FCI ケースの事象シーケンスを Table 4.3.5 に, 原子炉出力及び全反応度の変化を Fig. 4.3.32 に示す。又, Ch. 12 の FCI 領域拡大進展の様子と燃料反応度変化を Fig. 4.3.33 に示した。計算終了時点 (事故後 62.04 秒) での炉心状態について Fig. 4.3.34 に燃料集合体毎の状況を, Fig. 4.3.35 に燃料温度分布を, Fig. 4.3.36 に冷却材ボイド分布を示す。

LRIP, FCI ケースは FCI 現象のパラメータ解析であり, FCI 開始までは RP ケース及び EXNRC ケースと同一である。即ち, 事故発生後約 61.4 秒で最初の FCI (第 4 チャンネル) が発生し, この時点での原子炉反応度は約 $15 \text{ } \phi$, 原子炉出力は定格時の約 3.4 倍である。Ch. 4 の燃料ピン破損に引きつづき Ch. 12, 及び Ch. 10 で FCI が生じ, 燃料破損チャンネルは RP ケースと全く同一となる。

このケースに対する冷却材反応度投入量は RP ケースより大きく, 原子炉最大反応度は約 $17.7 \text{ } \phi$ となり, RP ケースより $2 \text{ } \phi$ 程度大きい。これは破損口径を大きくしたことにより放出燃料量が若干増加することによると考えられる。

また, 次の第 12 チャンネルの FCI 開始も約 1 msec 程 RP ケースより早くなる。第 12 チャンネルの FCI では Fig. 4.3.33 に示す FCI 現象となるが, RP ケース, あるいは EXNRC ケースよりも反応度挿入率, 及び最大反応度投入量が增大する。放出燃料量が増大した結果, Ch. 12 に対する fuel compaction の効果, 及び fuel sweepout による負反応度投入量は増大し, 起因過程末期の全反応度は RP ケースより 30 % 程度小さく ($\rho_{\text{net}} = -0.45 \text{ } \phi$) なる。

上記した反応度挙動は RP ケースと本質的に変わるものではなく, 最終炉心の燃料溶融割合 (23 %), 燃料内部エネルギー (402 MJ) 共に RP ケースの結果とほぼ一致する。従って, 燃料ピン破損口を増大した効果は, ボイド反応度投入量をわずかに増大させるに留まり事象進展には何等影響がないことが結論される。

(3) LRAD, FCI ケースの解析

前述の LRIP, FCI ケースまでの各種のパラメータ解析の結果から, FCI 時の冷却材反応度効果は高々数 ϕ 程度であり, むしろ FCI に伴う燃料掃除による負の反応度効果が大きいこと

が示された。

ここで実施した LRAD, FCI ケース (C 3107) は FCI 領域での燃料粒子半径を 250μ (RP ケースは 100μ) とすることにより冷却材への熱移行を減少させた場合 (同一燃料量の場合には冷却材との接触面が小さくなる) について検討することを目的としたものである。

LRAD, FCI ケースの事象シーケンスを Table 4.3.6 に、原子炉出力及び全反応度の変化を Fig. 4.3.37 に示す。又、Ch. 12 に対する冷却材反応度変化、FCI 領域の進展、及び燃料反応度を Fig. 4.3.38 に示した。計算終了時点 (事故後 62.05 秒) での炉心状態について Fig. 4.3.39 に燃料集合体毎の状況を、Fig. 4.3.40 に燃料温度分布を、Fig. 4.3.41 に冷却材ボイド分布を示す。

このケースは事故発生後 61.4 秒での最初の FCI (第 4 チャンネル) までは EXNRC ケース、RP ケース及び LRIP, FCI ケースと同じ事象となる。又、燃料ピン破損は Ch. 4 に引きつづき、Ch. 12, Ch. 10 で発生し、これ等のチャンネルの fuel sweepout によって起因過程は核的炉停止状態へ移行する。

燃料粒子径を大きくした効果は冷却材反応度の挿入率、及び投入量を減少させる。このため、Fig. 4.3.38 に示す様に Ch. 12 のボイド反応度曲線では RP ケース、あるいは LRIP, FCI ケースに見出される最初のピークが消滅し、最大反応度投入量も 2.5% 程度となる。しかし、放出燃料量は RP ケースとほぼ同一であるため、起因過程末期の全反応度は RP ケースに一致する。この結果、最大全反応度が RP ケースよりわずかに小さくなるが、燃料粒子径を変化した効果は事象展開に何等影響しないことが結論される。

RP, LRIP, FCI, 及び本ケースの結果を総合すると、少くとも $2\%/sec$ 程度の反応度挿入事故では冷却材中への燃料放出量が少ないため、FCI モデルパラメータの差異は、TOP 事象展開に何等影響しないことが結論される。

(4) FCI 75 ケース解析

燃料ピン破損基準として 50% 溶融割合を想定すると BOIC の TOP 事象では燃料破損に伴い FCI 現象が発生し、冷却材中へ放出された燃料の一部が炉心から掃除されるために原子炉を十分に未臨界とするような大きな負の反応度効果が挿入される。また、この間に冷却材が急激に加熱されるために正の冷却材反応度効果が挿入されるが、反応度投入量は高々数%程度であることから、原子炉出力を著しく増大、あるいは即発臨界をこえるような反応度効果とはなり得ない。従って初装荷炉心では炉心燃料の破損が炉心全域に拡がる前に起因事故事象は核的に終息する。

一方、燃料ピン破損が遅延し、炉心溶融がより進展した状態で FCI が発生した場合は、初期の FCI による出力上昇により広範な炉心領域の燃料破損が誘発される可能性がある。そこ

でピン破損が極端に遅延した場合の炉心挙動に対する予備的な検討を行った。

ここで想定した FCI 75 ケース (C3105) は FCI 発生条件を燃料ペレット断面の溶融割合 75% (RP ケースでは 50%) として FCI の発生を遅らせたものである。

FCI 75 ケースの事象シーケンスを Table 4.3.7 に、原子炉出力及び全反応度の変化を Fig. 4.3.42 に示す。また、計算終了時点 (事故後 72.15 秒) での炉心状態について Fig. 4.3.45 に燃料集合体毎の状況を、Fig. 4.3.46 に燃料温度分布を、Fig. 4.3.47 に冷却材ボイド分布を示す。

このケースのように燃料破損が燃料のペレット断面 75% 溶融まで生じないと想定した場合、燃料破損の前に冷却材が沸騰する。

冷却材の沸騰は LOF 事象と同じく第 2 チャンネルよりおこるが、これは事故後 67.8 秒であり、RP ケースの FCI 条件 (燃料ペレット断面 50% 溶融) 到達から 6.4 秒後である (Table 4-3-7)。その後、第 1～第 10 チャンネルの冷却材が沸騰する (Fig. 4.3.35) がそれらの沸騰順序は Table 4.3.7 に示すようにほぼチャンネル番号順、即ち初期の出力/流量比に従う。これは、TOP 事象では冷却の循環ポンプのトリップがないため、炉心流量は定格流量が確保されており、出力上昇も定格時の 3～4 倍程度であることから過渡時の出力/流量比 (即ち、冷却材の最高温度) も初期のチャンネル順から大きく変わらないためであると考えられる。

Fig. 4.3.43 に最初に冷却材沸騰が発生する第 2 チャンネルの燃料温度、冷却材沸騰及び被覆管と冷却材温度の過挙変化を示す。また Fig. 4.3.44 には炉心最内層の第 12 チャンネルの燃料温度変化を示した。これらの図からもわかるように TOP 事象では燃料、被覆管及び冷却材温度の過渡変化は緩やかであり、従って燃料破損の incoherency も大きいと考えられる。

反応度挿入事故時の冷却材沸騰挙動は集合体流量が大きいことに起因して LOF 時の沸騰挙動と明らかに異なる。即ち、沸騰の開始は減圧沸騰であるため集合体出口近傍がボイド化し、出力上昇に伴い沸騰領域が下降して炉心部がボイド化する。ボイド領域の進展は LOF に比べると遅く、炉心中央までのボイド化に 180 msec、炉心下端までボイド化するのに約 500 msec を要する。又、沸騰開始後 150 msec にはボイド領域は完全に dryout 状態となり、約 300 msec で炉心上端の被覆管溶融が始まる。

本ケースでは事故後約 72.15 秒で計算を打ち切った。この時点では最大の燃料ペレット溶融割合は約 74% であるため、結局 FCI 条件まで到らなかった。しかしながらこの時点では全反応度は約 40%，原子炉出力は定格時の約 7 倍程度にまで上昇しており、炉心燃料の約 43% が溶融している。計算終了時の炉心燃料内部エネルギー (above solidus) は RP ケースの 2 倍以上の 1000 MJ に達している。Fig. 4.3.47 に示す様にこの時点で完全にボイド化しているのは Ch. 1 と Ch. 2 で代表される集合体である。

以上述べた様に燃料ピン破損が遅延した場合、炉心内の内部エネルギーは急速に増大しFCIのポテンシャルが大きくなる。更に高出力集合体で冷却材沸騰を生じ正ボイド反応度が投入されるため炉心溶融が加速される。従って、この様な状況下でFCIが発生した場合、これによる出力上昇は他の集合体破損を誘発し、少なくとも事故の早期終結（Early Termination）はあり得ず、LOFと同様に遷移過程へ移行する可能性があり、出力上昇の規模によっては炉心崩壊過程へ移行する可能性も否定できない。

今後の課題として、本ケースの如くピン破損が遅延した場合のより詳細な炉心挙動の追跡、及び事象展開とピン破損条件の関係をより広範に検討する必要がある。

(5) GAPCON ケースの解析

GAPCON ケース（C 3104）は不確定性の大きい燃料—被覆管間のギャップコンダクタンスがTOP 事象展開に与える効果について検討したものである。

ここではLOF 事象のGAPCON ケースの場合と同様に、初期に燃料の保有するエネルギー量を保守側に評価するため一律にホットチャンネルの設計最小限である $714 \text{ Btu/hr ft}^2 \text{ } ^\circ\text{F}$ のギャップコンダクタンスを想定した。

TOP 事象のGAPCON ケースの事象シーケンスを Table 4. 3. 8 に、原子炉出力及び全反応度の変化を Fig. 4. 3. 48 に示す。また、計算終了時点（事故後 54.20 秒）での炉心状態について、Fig. 4. 3. 50 に燃料集合体毎の状況を、Fig. 4. 3. 51 に燃料温度分布を、Fig. 4. 3. 52 に冷却材ボイド分布を示す。

GAPCON ケースでは RP ケースに比べ定常時の燃料最高温度が $50 \sim 90 \text{ } ^\circ\text{C}$ 程度上昇し、燃料の保有する初期エネルギー量は増大する（Table 4. 1. 6, Table 4. 2. 9 参照）

このため、燃料の溶融及び破損は基準ケースより約 8 秒ほど早まり、事故後 53 秒前後（Table 4. 3. 24）で FCI が発生する。この時点での原子炉反応度は約 12% 、原子炉出力は定格の約 2.6 倍であり、両者共基準ケースより低くなる。

このケースでは第 10 チャンネル（RP ケースでは第 2 チャンネル）で最初の FCI が事故発生から約 53.55 秒後におこる。これは、同一ギャップコンダクタンスを想定した場合、燃料から被覆管への熱移行が各チャンネルとも同程度となるために燃料温度上昇はほぼ出力に比例するようになり、出力の高い炉心中心付近で破損条件（燃料溶融割合）を満足しやすくなるためと思われる。

第 10 チャンネルの破損に引き続いて約 0.08 秒後に第 12 チャンネルで FCI が発生する。Fig. 4. 3. 49 に第 12 チャンネルの FCI 時の挙動を示すが、RP ケースと同様に冷却材の反応度効果は 3% 前後であり、燃料掃除による負の反応度効果の方がはるかに大きい。従ってこのケースでも原子炉の最大反応度は約 15% 、最大出力は約 2.65 倍にとどまるため、出力暴走

とはなり得ない。Ch. 10 と Ch. 12 の fuel sweepout により出力が低下し、RP ケースでピン破損を生じた Ch. 4 の FCI は発生しなくなる。

本ケースの最終炉心の平均温度は 2412°K であり、RP ケースより 450°K も低い状態にする。この結果、熔融燃料（熔融割合 16 %）の内部エネルギーは 280MJ と、RP ケースのおよそ $2/3$ となる。GAPCON ケースでは初期エネルギーが RP ケースより大きいにもかかわらず起因過程末期の熱エネルギー状態が低下した原因は、初期定常時の各チャンネルの燃料エンタルピー差が RP ケースよりわずかに拡大したため Ch.10 及び Ch.12 の燃料熔融が先行し出力レベルの低い状態でピン破損を生じ事故が終息したことにあると考えられる。

(6) パラメータ解析の結論

TOP 事象では冷却材沸騰の前に燃料破損が生じる可能性が大きい。このため、燃料破損と共に生じる FCI 現象がその後の事象進展を支配する。ここで実施したパラメータ解析は FCI による反応度効果を保守側に評価し、原子炉が出力暴走に移行するか否かの検討を主目的とした。この結果、初装荷炉心では冷却材中への放出燃料量が少ないことを主要因として FCI モデルパラメータの差異は事象進展に全く影響を与えず、各パラメータ解析ケースは基本ケース（BE, EXNRC ケース）とほぼ同等の事象展開を示すことが明らかとなった。

一方、燃料ピン破損が遅れるような場合には冷却材沸騰がおこり、このため冷却材ボイド反応度が挿入され、炉心の燃料熔融が急速に進展し FCI による事故ポテンシャルが増大することが明らかになった。

従って初装荷炉心の反応度挿入事故では、燃料ピン破損が 50 % 熔融割合程度で発生した場合は、保守的な FCI 現象が発生しても起因過程は fuel sweepout により一時的な炉停止状態へ移行し、更に永久的な炉停止状態へ到達する可能性が大きい。燃料破損が遅れるほど transition phase、あるいは炉心崩壊過程へ移行する確率が大きくなると結論される。

4.3.4 結 論(TOP)

4.3.4 結 論

(i) BOIC 反応度挿入事故事象展開

制御棒誤引き抜きなどにより反応度が挿入されるような TOP 事象が発生すると、原子炉出力及び炉心燃料温度が上昇する。この間原子炉トリップ動作がなされないと炉心定格流量が確保されているため冷却材温度上昇よりも燃料温度上昇の方が大きく、冷却材沸騰より燃料熔融現象が先行することになる。

Fig. 4.3.53 に初装荷炉心 TOP 事象の基本的な 3 ケース（BE ケース、EXNRC ケース及び RP ケース）の起因事象末期での燃料破損状況を比較したものを記載した。この図からわかるように、初装荷炉心では事故後 1 分前後までに炉心中心領域で燃料破損がおこる。

この中で BE ケースは実際の事故挙動で考えられる炉心燃料の密度変化などによる負の反応度フィードバック効果を考慮しているために出力上昇は遅れ燃料破損も約 18 秒ほど他のケースより遅れている。しかし、燃料破損はいずれのケース共に原子炉反応度が約 15 ϕ ，原子炉出力が定格時の約 3 倍前後でおこっている（Table 4.3.1）。

TOP 事象では冷却材の沸騰よりも燃料破損が先行するために、燃料破損時には炉内にナトリウムが存在しており、FCI 事象が発生する。初装荷炉心では径方向出力分布が平衡炉心に比べ平坦であるため事象展開の同時性が強くピン破損を生ずる集合体は全炉心の 15～20% に達する。この割合は平衡炉心の 3～4 倍に相当する。更にこれ等のピン破損はボイド反応度値の高い炉心中央で発生しやすいために、FCI による冷却材の急激な加熱により正の冷却材反応度効果が挿入されることになる。ところが、初装荷炉心では FCI による正の反応度効果は数 ϕ 程度にしかすぎない。これは、初装荷炉心ではベレット内の FP ガス量が少ないため燃料ピン内圧が平衡炉心よりも低く、燃料ピン破損時に於けるナトリウム流路中への燃料放出が少ないため激しい FCI 現象がおこらないことが主要因である。

一方、FCI が発生する冷却材中へ放出された燃料の一部が炉心から掃除されるが、燃料の持つ反応度値は大きく、わずかな燃料が掃除されるだけで原子炉を未臨界とするに十分な負の反応度が挿入されることになる。

従って初装荷炉心の TOP 事象では一部の領域で FCI が生じるのみで起因事象は終了することになる。また、燃料破損の非同時性は LOF 事象よりもはるかに大きい。これは燃料破損を生じる出力レベルが定格時の約 3 倍程度であり、出力上昇速度が小さいためである。

(ii) 最終炉心状態

燃料熔融割合が 50 % 程度の状態で被覆管破損が発生することを想定すると、冷却材中への燃料放出量が小さいため FCI に伴う出力上昇は極めて小さく、燃料ピン破損が他の集合体に伝播する可能性はない。又、FCI モデルパラメータの差異も事象進展には全く影響しない。この結果 fuel sweep out による起因過程終息後の炉心状態は互いに類似することになる。

上記破損条件では起因過程末期の炉心には 400～450 MJ の熔融燃料エネルギーが蓄積され、

炉心の25%が溶融している。初装荷炉心では径方向出力分布が平衡炉心に比べ平坦であるため、ピン破損時の炉心内熱エネルギーは平衡炉心の3～5倍程度大きい。従って、炉心冷却が確保されている場合は永久的な炉停止状態へ移行すると考えられるが、放出燃料の固着による流路閉塞が発生した場合は遷移過程へ移行する確率が他の炉心より高くなると考えられる。

起因過程終息時の熱的状态は燃料ピン破損までに投入されたエネルギー量に比例するため、ピン破損条件は反応度挿入事故の事象進展に最も重大な影響を与える。ピン破損が遅延した場合、冷却材中への放出燃料量が増大し、燃料破損初期の出力上昇によって、燃料溶融-ピン破損が他の炉心領域へ伝播する可能性がある*。この様な場合、起因事故過程は炉心崩壊過程、あるいは遷移過程へ移行する可能性が非常に大きいと考えられる。実際、最大出力チャンネルの出力ピークノードが50%溶融割合に到達した場合の炉心燃料溶融割合は約25%であるが前者が75%程度である時は炉心溶融は約50%まで進展する。

従って、今後の課題として、燃料破損条件とFCIによる炉出力挙動の関係をより詳細に検討する必要がある。

*) TOP事故ではFCI現象が出力暴走へ移行するための唯一のメカニズムである。このため、FCIに対する集合体間非同時性⁵¹⁾、あるいは集合体内の非同時性¹²⁾に関する統計的な手法を用いた解析が行なわれている。我々が行った検討範囲ではもんじゅ炉心のTOP時に於ける燃料破損の同時性は全炉心状態(BOIC, BOIC, EOEC)を通じて極めて小さい。

Table 4.3 - 1 ~ 4.3 - 8

Table 4.3-1 Initiation Phase Summary Results for BOIC TOP Summary Table of Monju-HCDA SAS3D Analysis

Accident Category: TOP Reactor Core State: BOIC

Input Condition & Result		Case ID #	TP.BE C3100	TP.EXNRC. C3103	TP.RP. C3101	TP.LRIP.FCI C3106	TP.LRAD.FCI C3107	TP.FCI75 C3105	TP.GAPCON. C3104
Fuel Slumping Model (Slumping Criteria)			fuel melt fraction 50% or fuel surface melt	fuel melt fraction 50%	fuel melt fraction 50% or fuel surface melt	same as RP.C3101	same as RP.C3101	same as RP.C3101	same as RP.C3101
fci Model	Clad Rupture Criterial		fuel melt fraction 50%	fuel melt fraction 50%	fuel melt fraction 50%	same as RP.C3101	same as RP.C3101	fuel melt fraction 75%	same as RP.C3101
	Rip Length (cm)		15.0	5.0	5.0	30.0	5.0	5.0	5.0
	Rip Area (cm ²)		cavity area	0.10	0.10	0.60	0.10	0.10	0.10
	Particle Radius(μm)		117.0	100.0	100.0	100.0	250.0	100.0	100.0
	Mixing Time (ms)		10.0	0.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0
Other Conditions			—	—	—	—	—	—	gap conductance 714Btu/hr ft ² °F
Reactivity Coeffs. Na Void		Doppler	nominal values	nominal values	nominal values	same as RP.C3101	same as RP.C3101	same as RP.C3101	same as RP.C3101
		Axial Core Expansion	50%	neglect	neglect	same as RP.C3101	same as RP.C3101	same as RP.C3101	same as RP.C3101
1st Boiling Time(sec)/(Ch #) & additional Ch 3			—	—	—	—	—	67.77(2) 1 ~ 10	—
1st Clad Relocation(sec)/ (Ch #) & additional Ch #			—	—	—	—	—	72.1(1)	—
1st Fuel Slumping(sec)/(Ch #) & additional Ch #			—	—	—	—	—	—	—
1st FCI Time(sec)/(Ch #) & additional Ch #			79.717(4) 4, 10, 12	61.369(4) 2,4,10,12	61.369(4) 4, 10, 12	61.369(4) 4, 10, 12	61.369(4) 4, 10, 12	—	53.548(10) 10, 12
Up to Coolant Reactivity 1st FCI: (\$)			—	—	—	—	—	—	—
		Net Reactivity(\$)	0.133	0.151	0.151	0.151	0.151	—	0.123
		Relative Power(P/P ₀)	3.378	3.408	3.408	3.408	3.408	—	2.563
Max. Net Reactivity (\$) & Time (sec)			0.149 79.815	0.155 61.400	0.159 61.397	0.177 61.397	0.155 55.600	0.165 55.700	0.150 53.579
Max. Relative Power (P/P ₀)			3.45	3.42	3.44	3.52	3.44	7.44	2.65
Core Average Void Fraction(%)			4.9	4.9	4.9	4.9	4.9	10.4	5.0
Molten Fuel Mass(kg) & Core Melt Fraction (w/o)			1598 24.0	1627 24.4	1614 24.2	1506 22.6	1552 23.3	2865 43.0	1048 15.7
Molten Fuel Average Temp.(K)& Energy above Fuel Solidus(MJ)			2974 427	2974 434	2974 434	2974 402	2974 414	3090 970	2974 280
Reactivity Component for Initiating Phase Shutdown			fuel sweepout	fuel sweepout	fuel sweepout	fuel sweepout	fuel sweepout	—	fuel sweepout
Average Net Reactivity Ramp Rate during Superprompt Critical Excursion' (\$/sec)			—	—	—	—	—	—	—
Duration of Super Prompt Critical State (ms)			—	—	—	—	—	—	—

Table 4.3-2 Event Sequence for BOIC TOP (TP.BE.C3100)**SAS3D Analysis Event Sequence Table****Case ID : TP(BIC)-BE(C3100)**

	Event Inception Time since Start of Accident (sec)										
Channel #	Coolant Boiling	#	Clad Melting	#	Clad Relocation	#	Fuel Failure	fuel Slumping	#	FCI	#
1											
2											
3											
4							79.7167			79.7167	1
5											
6											
7											
8											
9											
10							79.7900			79.7900	3
11											
12							79.7877			79.7877	2
13											
14											
15											
16											

Table 4.3-3 Event Sequence for BOIC TOP (TP.EXNRC.C3103)

SAS3D Analysis Event Sequence Table

Case ID : TP(BIC)-EXNRC(C3103)

Event Inception Time since Start of Accident (sec)											
Channel #	Coolant Boiling	#	Clad Melting	#	Clad Relocation	#	Fuel Failure	Fuel Slumping	#	FCI	#
1											
2							61.5445			61.5445	4
3											
4							61.3685			61.3685	1
5											
6											
7											
8											
9											
10							61.4390			61.4390	3
11											
12							61.4249			61.4249	2
13											
14											
15											
16											

Table 4.3-4 Event Sequence for BOIC TOP (TP.RP.C3101)**SAS3D Analysis Event Sequence Table****Case ID : TP(BIC)-RP(C3101)**

Event Inception Time since Start of Accident (sec)											
Channel #	Coolant Boiling	#	Clad Melting	#	Clad Relocation	#	Fuel Failure	Fuel Slumping	#	FCI	#
1											
2											
3											
4							61.3685			61.3685	1
5											
6											
7											
8											
9											
10							61.4383			61.4383	3
11											
12							61.4233			61.4233	2
13											
14											
15											
16											

Table 4.3-5 Event Sequence for BOIC TOP (TP.LRIP.FCI.C3106)**SAS3D Analysis Event Sequence Table****Case ID : TP(BIC)-LRIP.FCI(C3106)**

Event Inception Time since Start of Accident (sec)											
Channel #	Coolant Boiling	#	Clad Melting	#	Clad Relocation	#	Fuel Failure	Fuel Slumping	#	FCI	#
1											
2											
3											
4							61.3685			61.3685	1
5											
6											
7											
8											
9											
10							61.4385			61.4385	3
11											
12							61.4226			61.4226	2
13											
14											
15											
16											

Table 4.3-6 Event Sequence for BOIC TOP (TP,LEAD,FCI.C3107)**SAS3D Analysis Event Sequence Table****Case ID : TP(BIC)-LRAD,FCI(C3107)**

	Event Inception Time since Start of Accident (sec)										
Channel #	Coolant Boiling	#	Clad Melting	#	Clad Relocation	#	Fuel Failure	Fuel Slumping	#	FCI	#
1											
2											
3											
4							61.3685			61.3685	1
5											
6											
7											
8											
9											
10							61.4384			61.4384	3
11											
12							61.4245			61.4245	2
13											
14											
15											
16											

Table 4.3-7 Event Sequence for BOIC TOP (TP.FCI75.C3105)**SAS3D Analysis Event Sequence Table****Case ID : TP(BIC)-FCI75(C3105)**

Channel	Event Inception Time since Start of Accident (sec)										
Channel #	Coolant Boiling	#	Clad Melting	#	Clad Relocation	#	Fuel Failure	Fuel Slumping	#	FCI	#
1	67.8744	2	71.981	2	72.1	1					
2	67.7684	1	71.652	1							
3	68.7946	4									
4	68.4748	3									
5	68.9790	5									
6	70.4273	9									
7	70.3102	7									
8	70.0440	6									
9	70.4034	8									
10	70.6715	10									
11											
12											
13											
14											
15											
16											

Table 4.3-8 Event Sequence for BOIC TOP (TP.GAPCON.C3104)**SAS3D Analysis Event Sequence Table****Case ID : TP(BIC)-GAPCON(C3104)**

	Event Inception Time since Start of Accident (sec)										
Channel #	Coolant Boiling	#	Clad Melting	#	Clad Relocation	#	Fuel Failure	Fuel Slumping	#	FCI	#
1											
2											
3											
4											
5											
6											
7											
8											
9											
10							53.5478			53.5478	1
11											
12							53.6281			53.6281	2
13											
14											
15											
16											

Figure 4.3 - 1~4.3 - 53

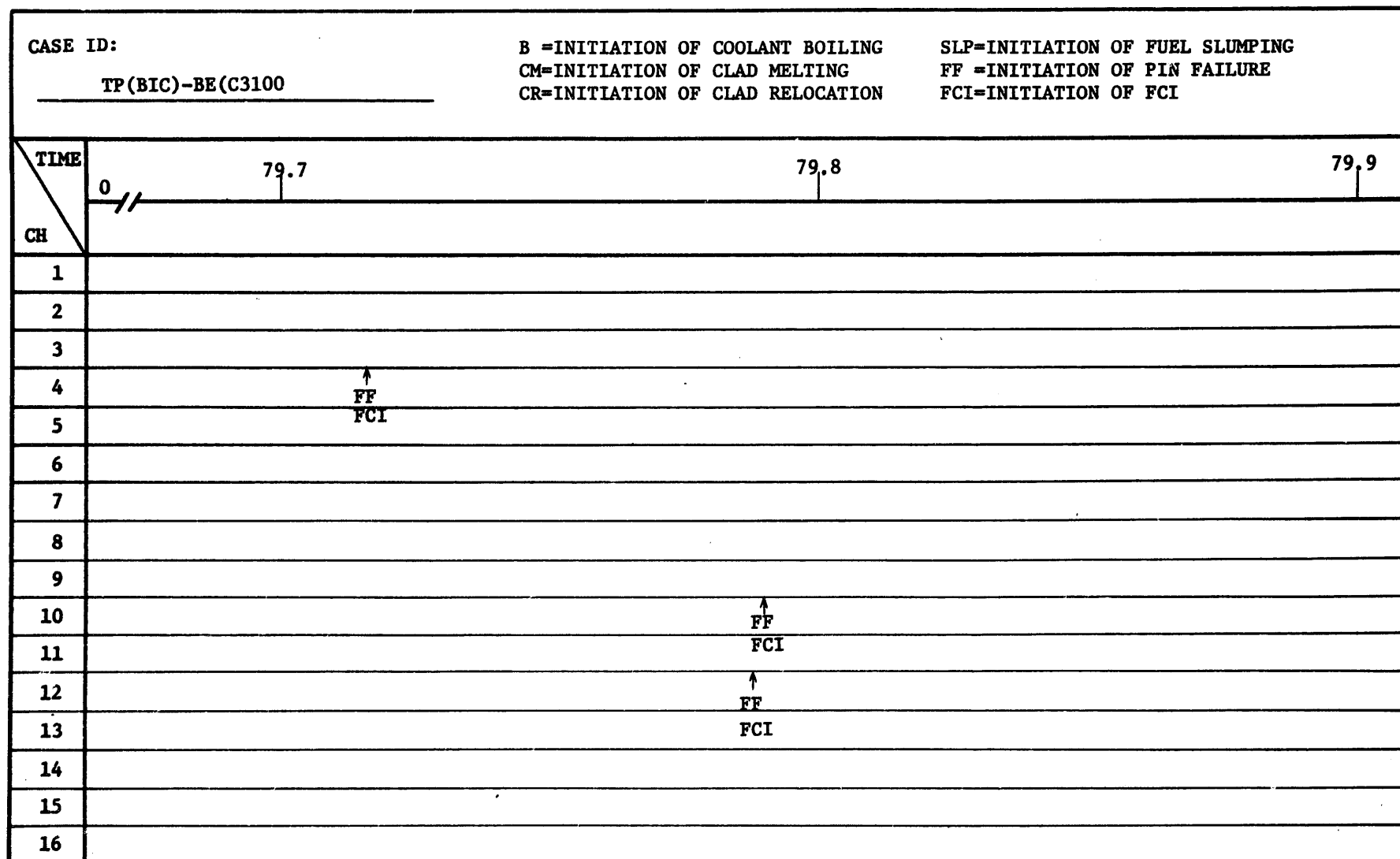


Fig. 4.3-1 Timing of events for BOIC TOP (TP.BE.C3100)

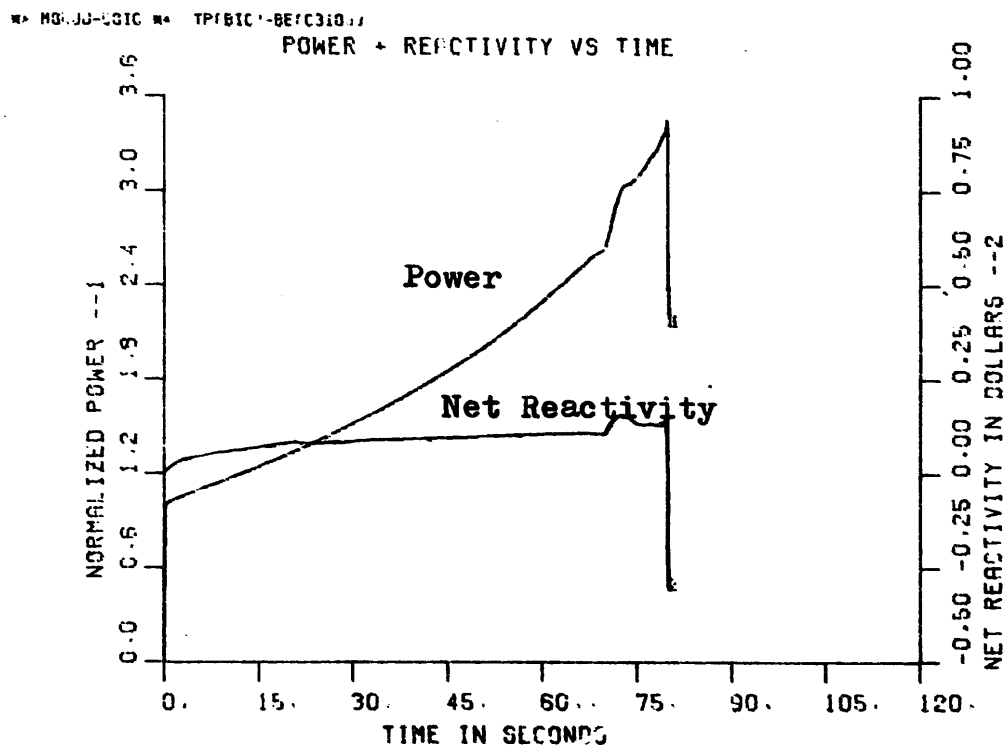
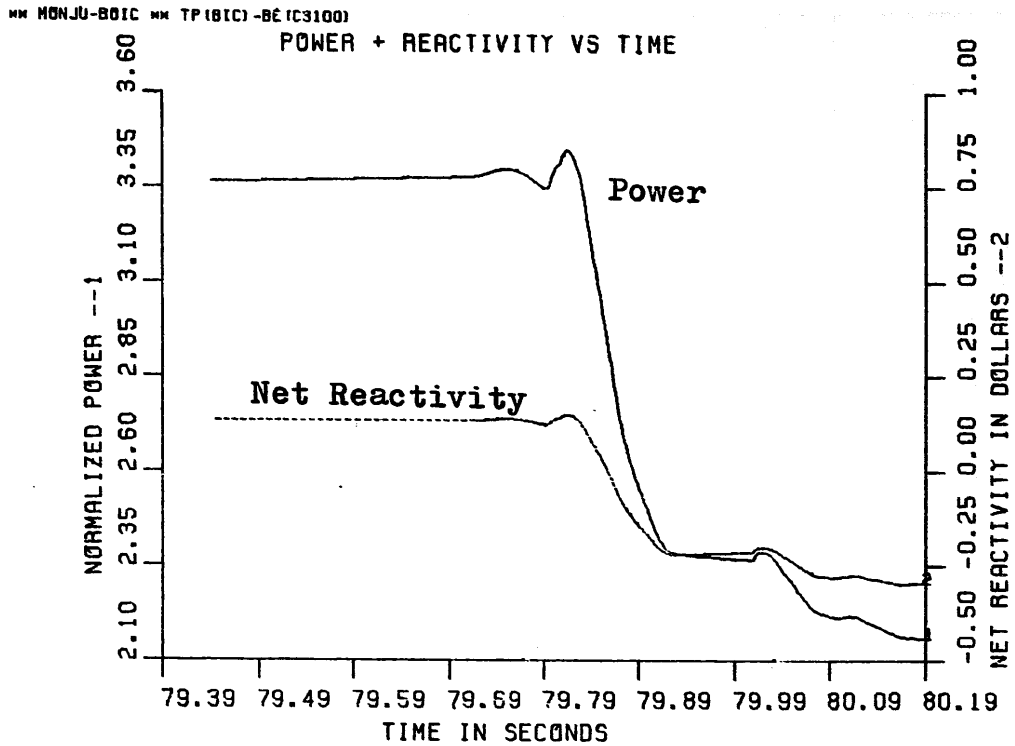


Fig. 4.3-2 Power and net reactivity profiles for BOIC TOP
Case ID : TP.BE.C3100

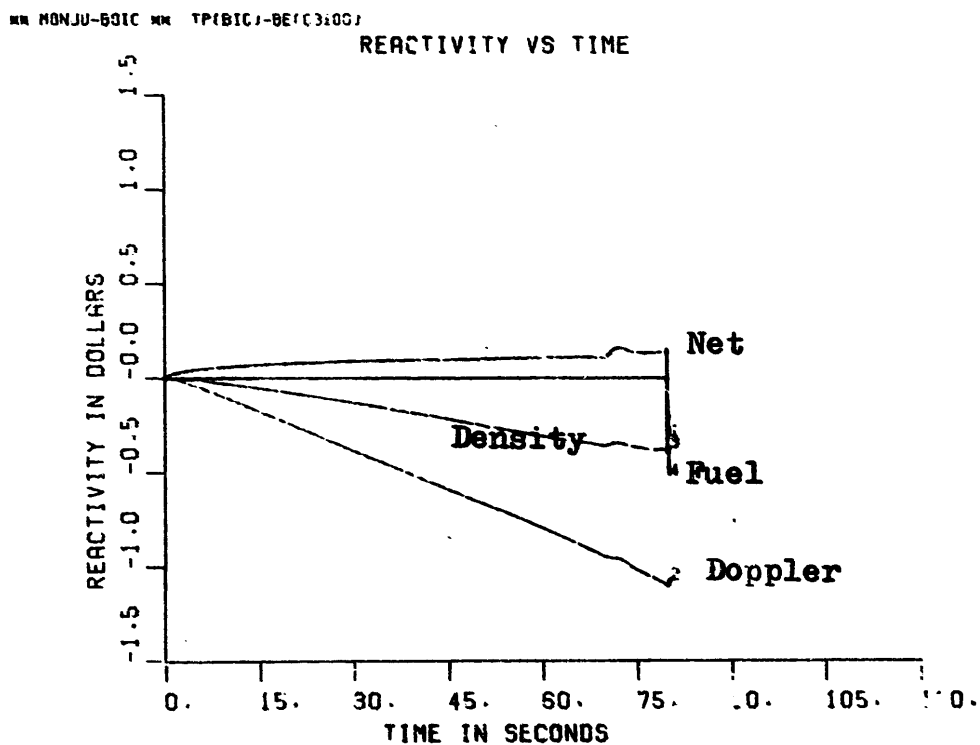
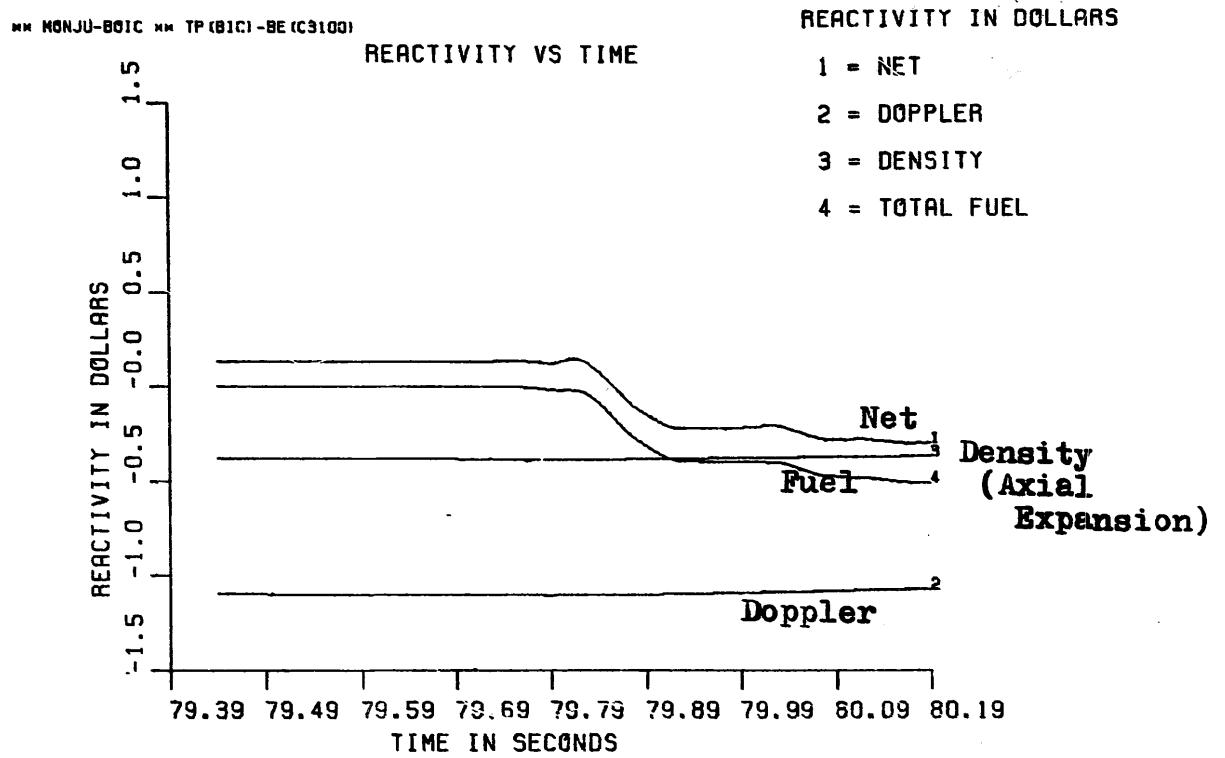


Fig. 4.3-3 Component reactivity traces for BOIC TOP
Case ID : TP.BE.C3100

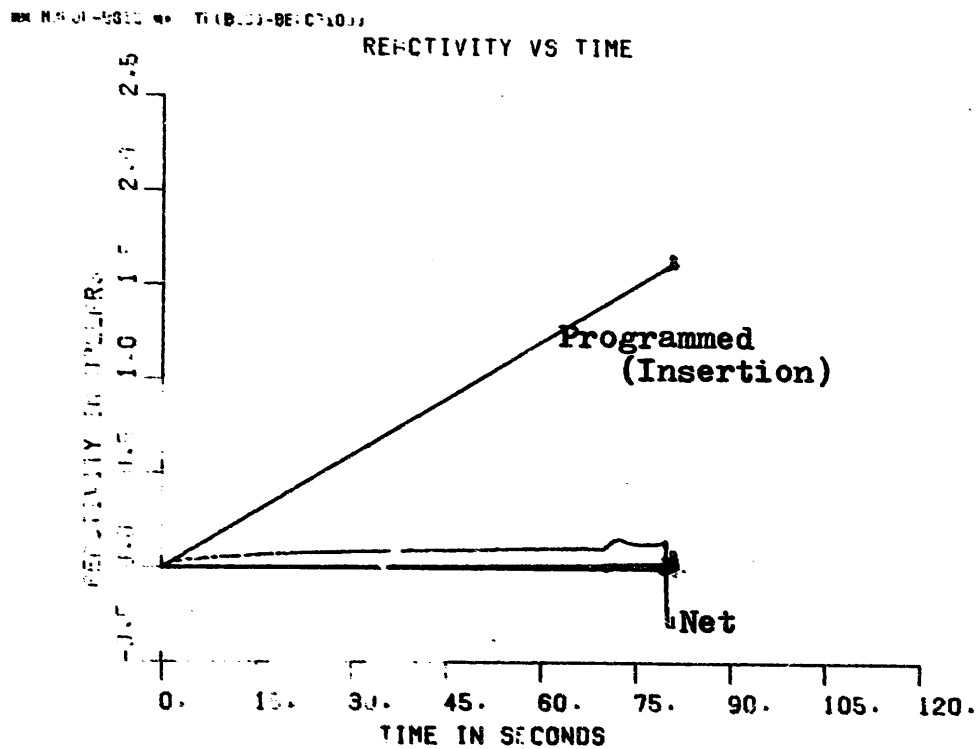
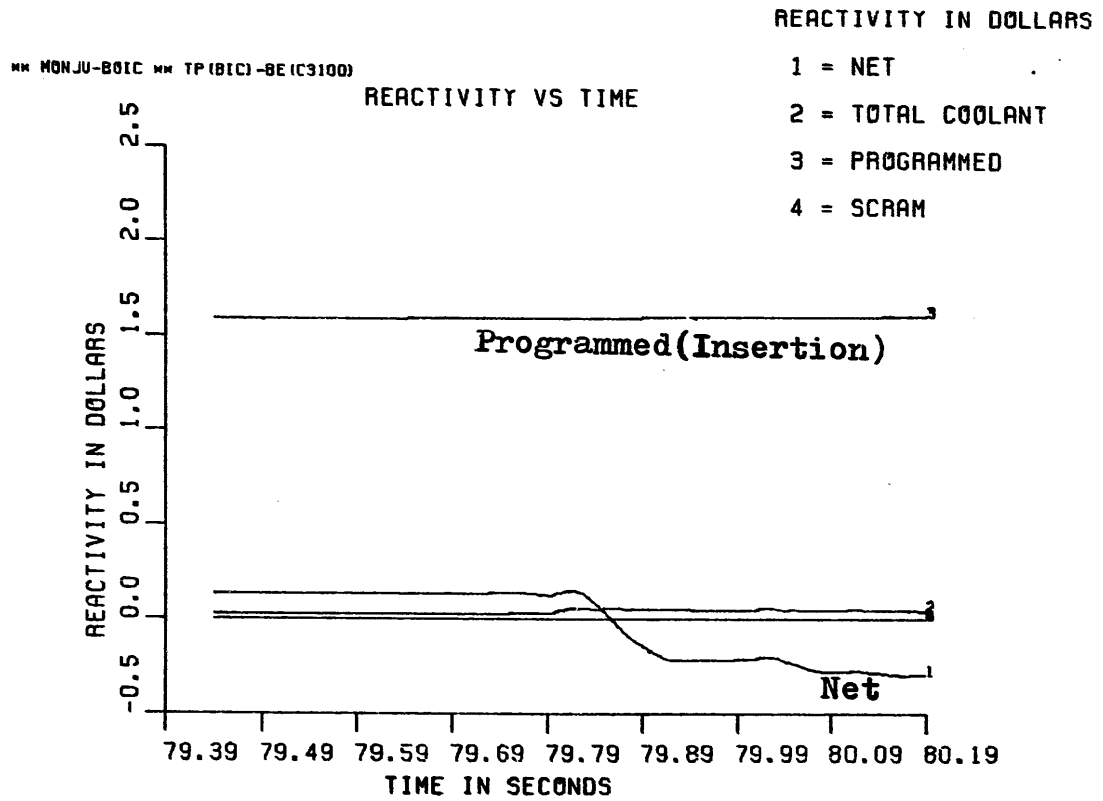


Fig. 4.3-4 Component reactivity traces for BOIC TOP
Case ID : TP.BE.C3100

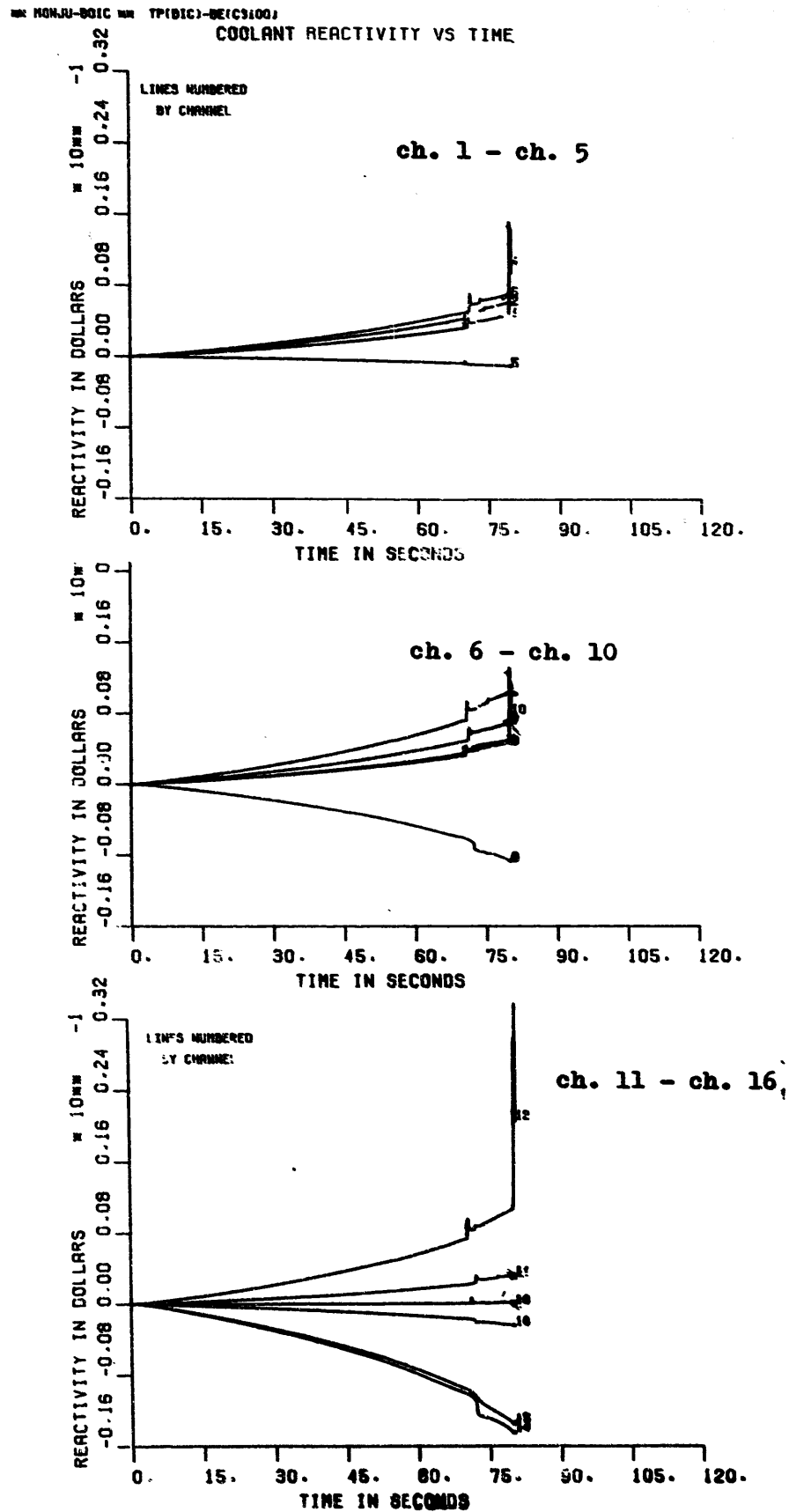


Fig. 4.3-5 Coolant reactivity traces by channel for BOIC TOP
Case ID : TP.BE.C3100

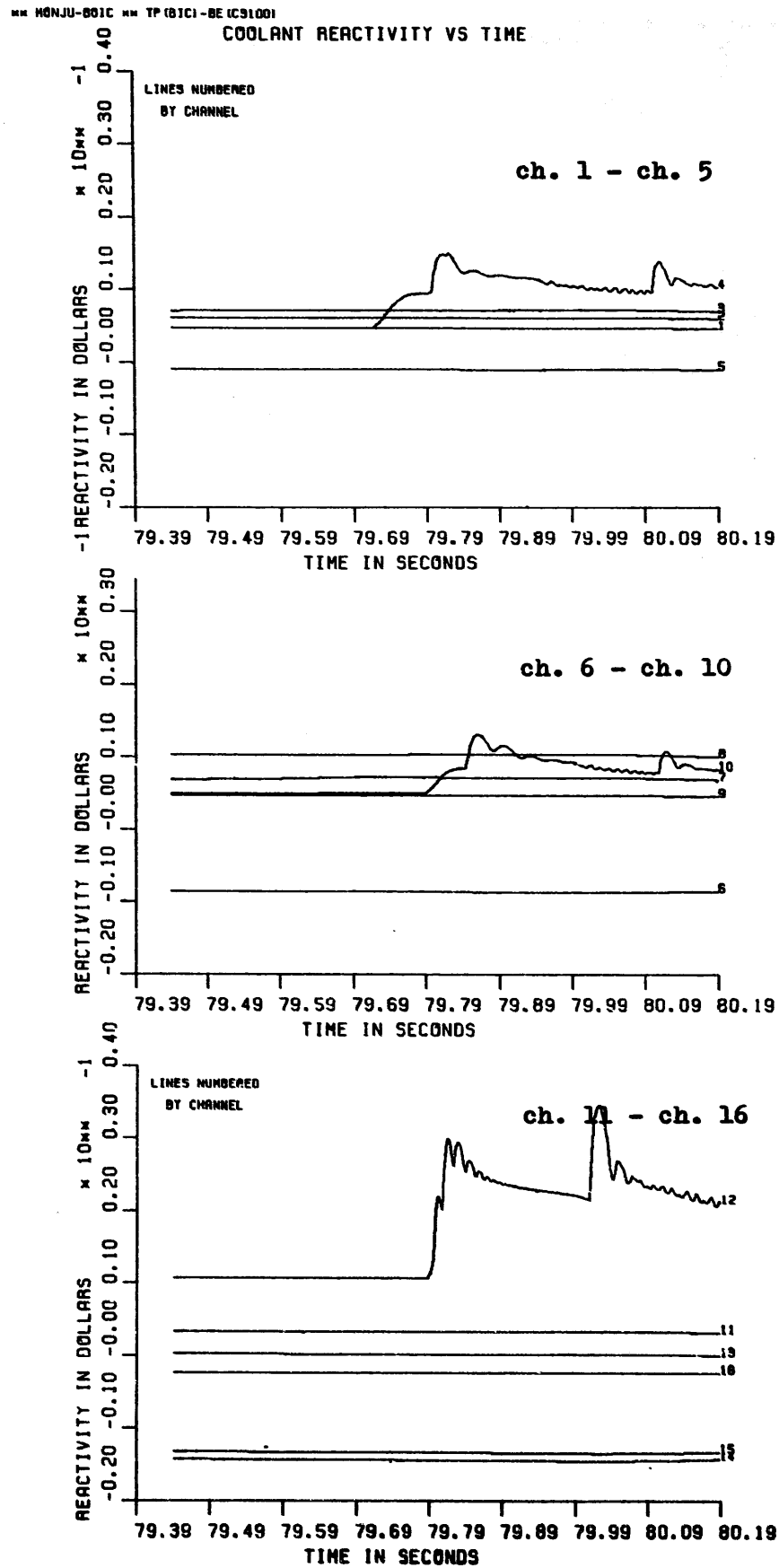


Fig. 4.3-6 Coolant reactivity traces by channel for BOIC TOP
Case ID : TP.BE.C3100

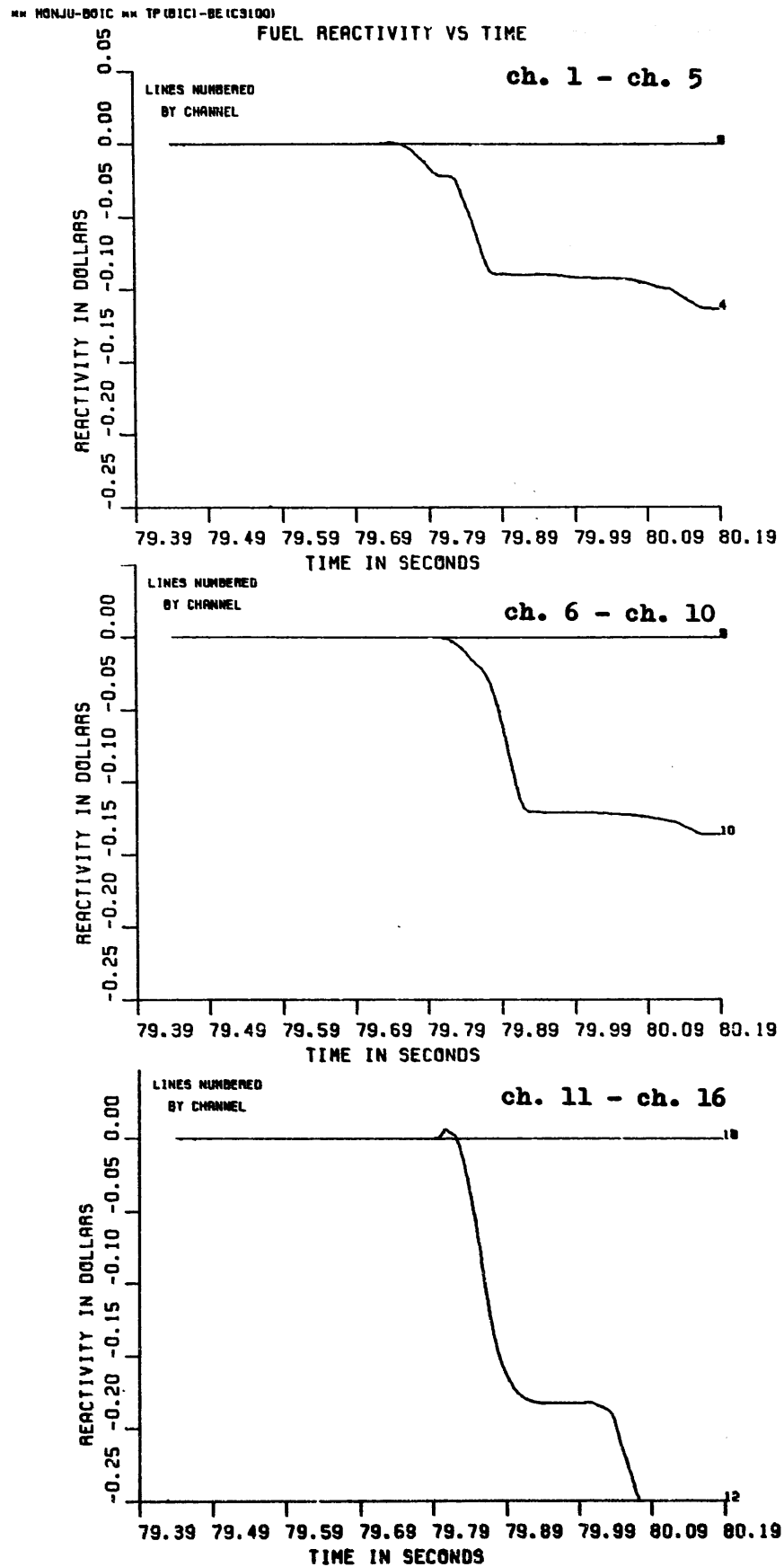
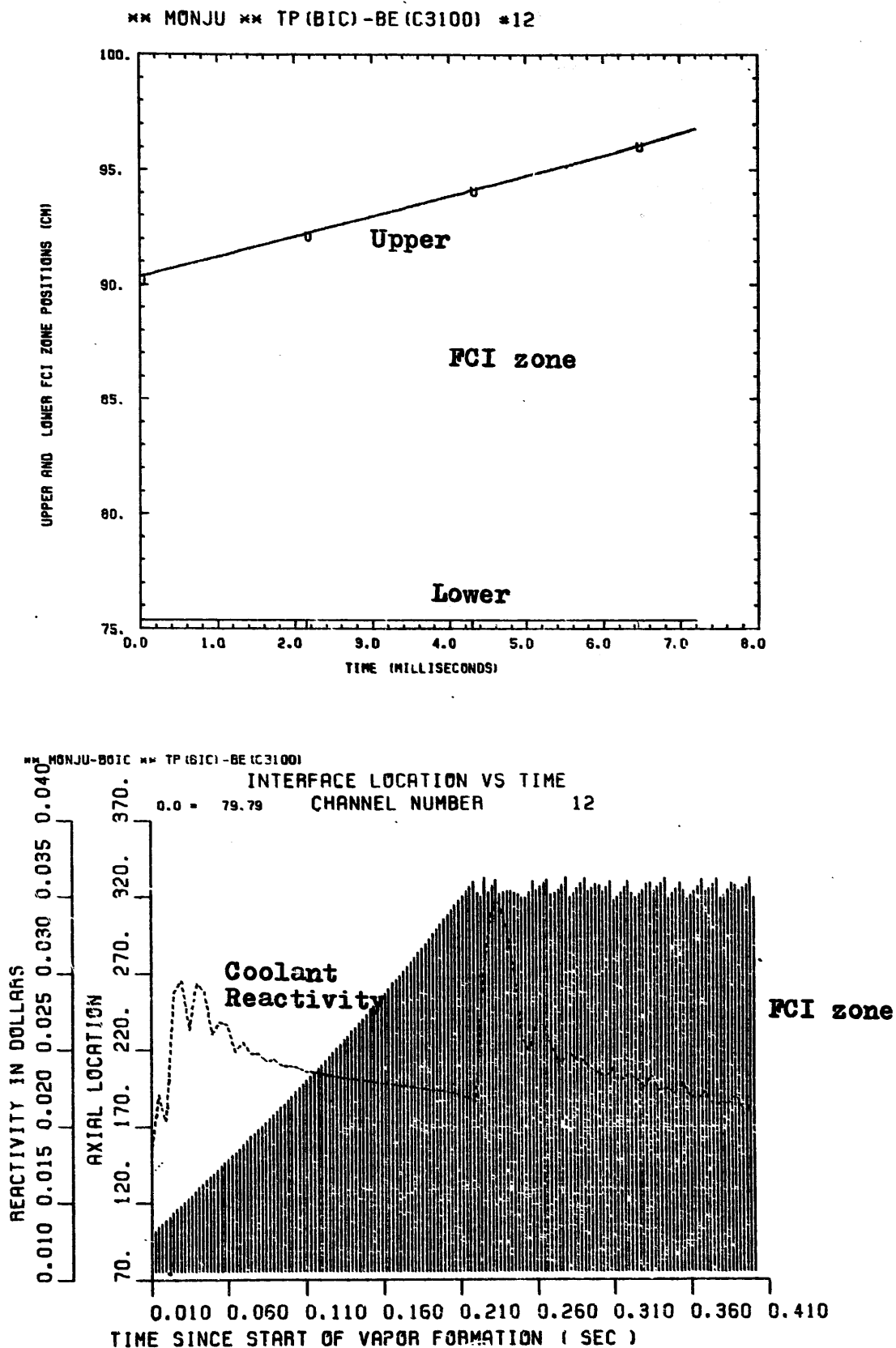


Fig. 4.3-7 Fuel reactivity traces by channel for BOIC TOP
Case ID : TP.BE.C3100



**Fig. 4.3-8 FCI zone growths in ch.12 for BOIC TOP
Case ID : TP.BE.C3100**

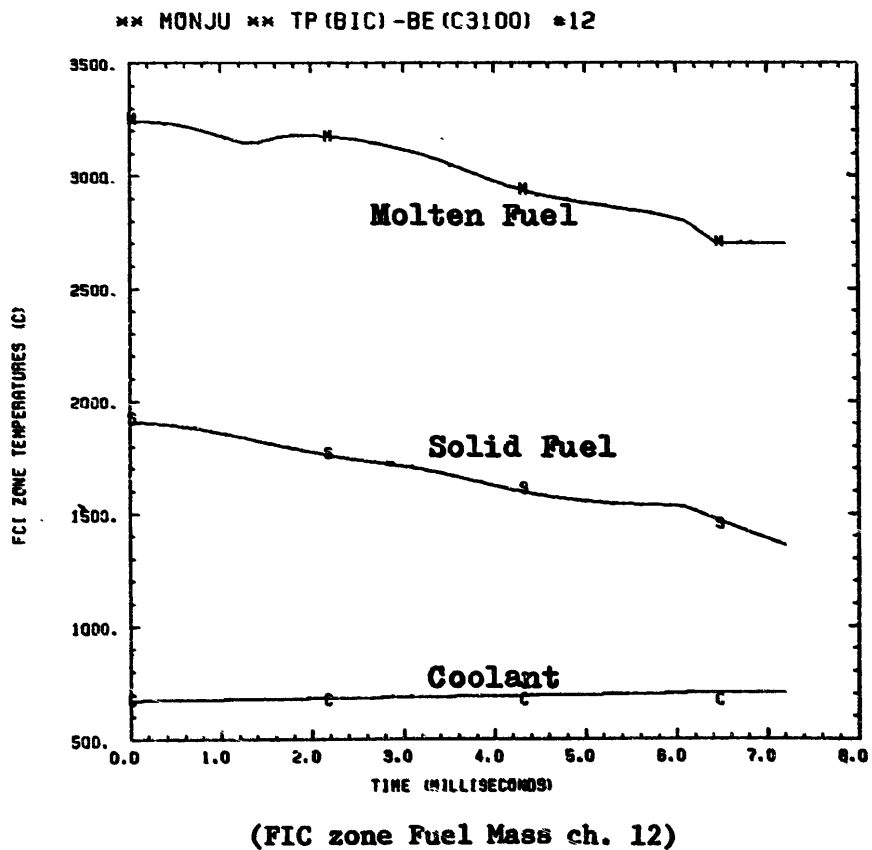
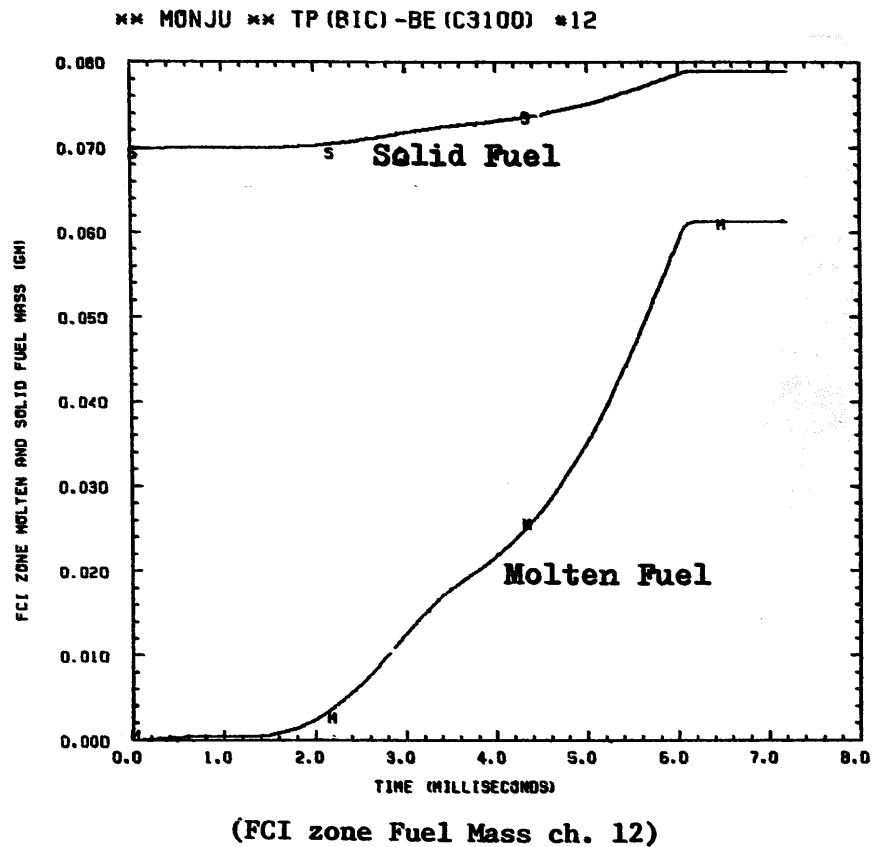


Fig. 4.3-9 Ejected fuel mass and FCI zone temperatures in ch.12 for BOIC TOP. Case ID : TP,BE.C3100

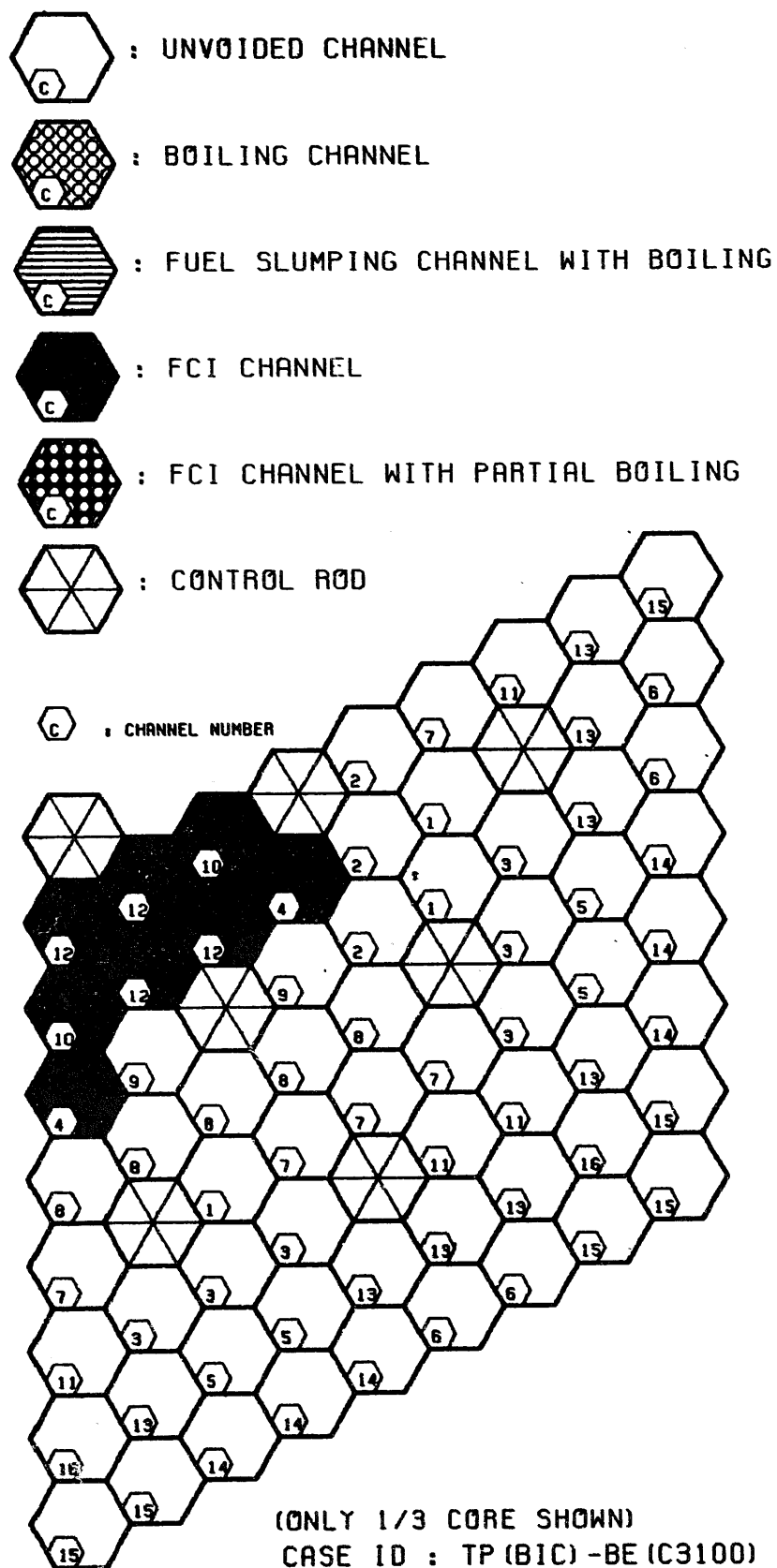
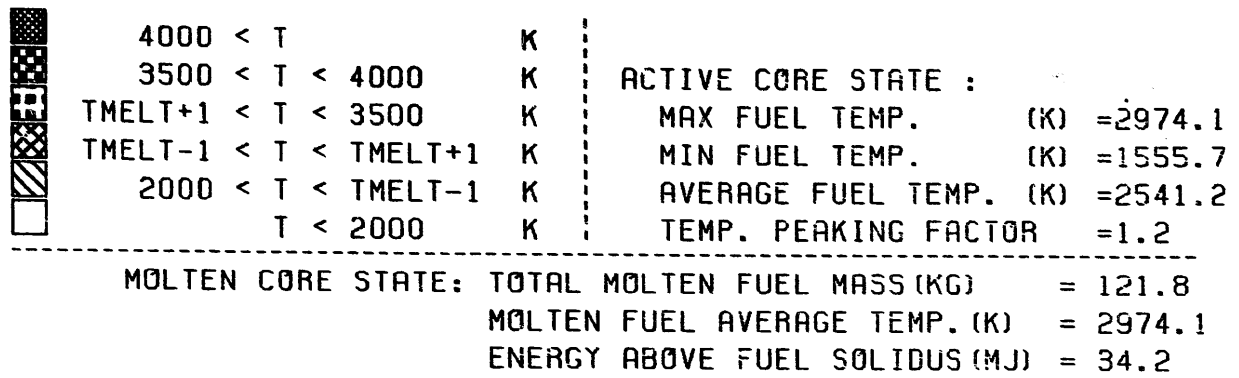


Fig.4.3-10 Core state at the end of initiating phase for BOIC TOP
Case ID : TP.BE.C3100



TP.BE (C3100) STP2000

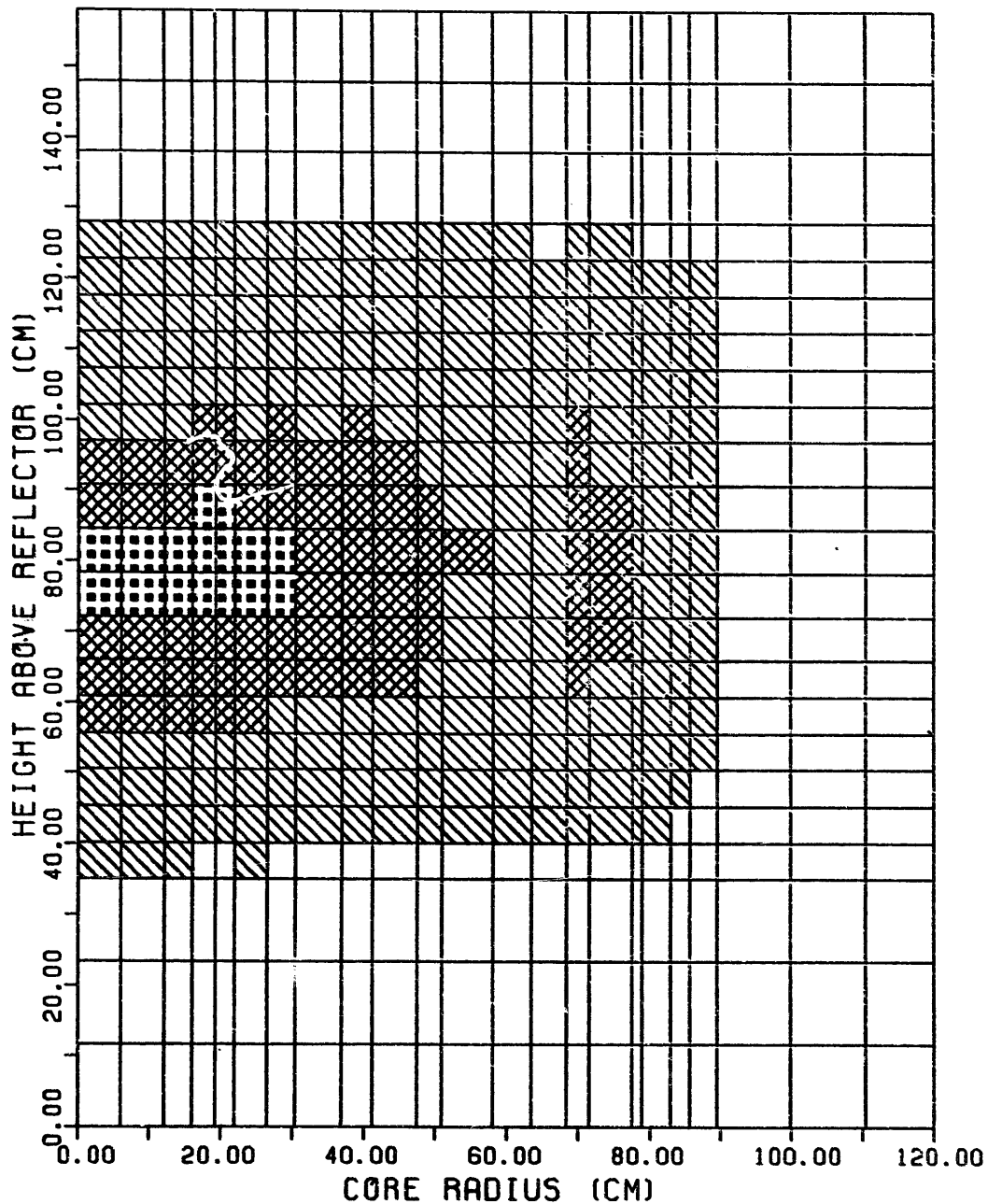
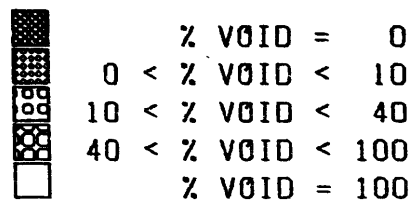


Fig.4.3-11 Fuel temperature distribution at the end of initiating phase for BOIC TOP. Case ID : TP.BE.C3100



TP.BE (C3100) STP2000

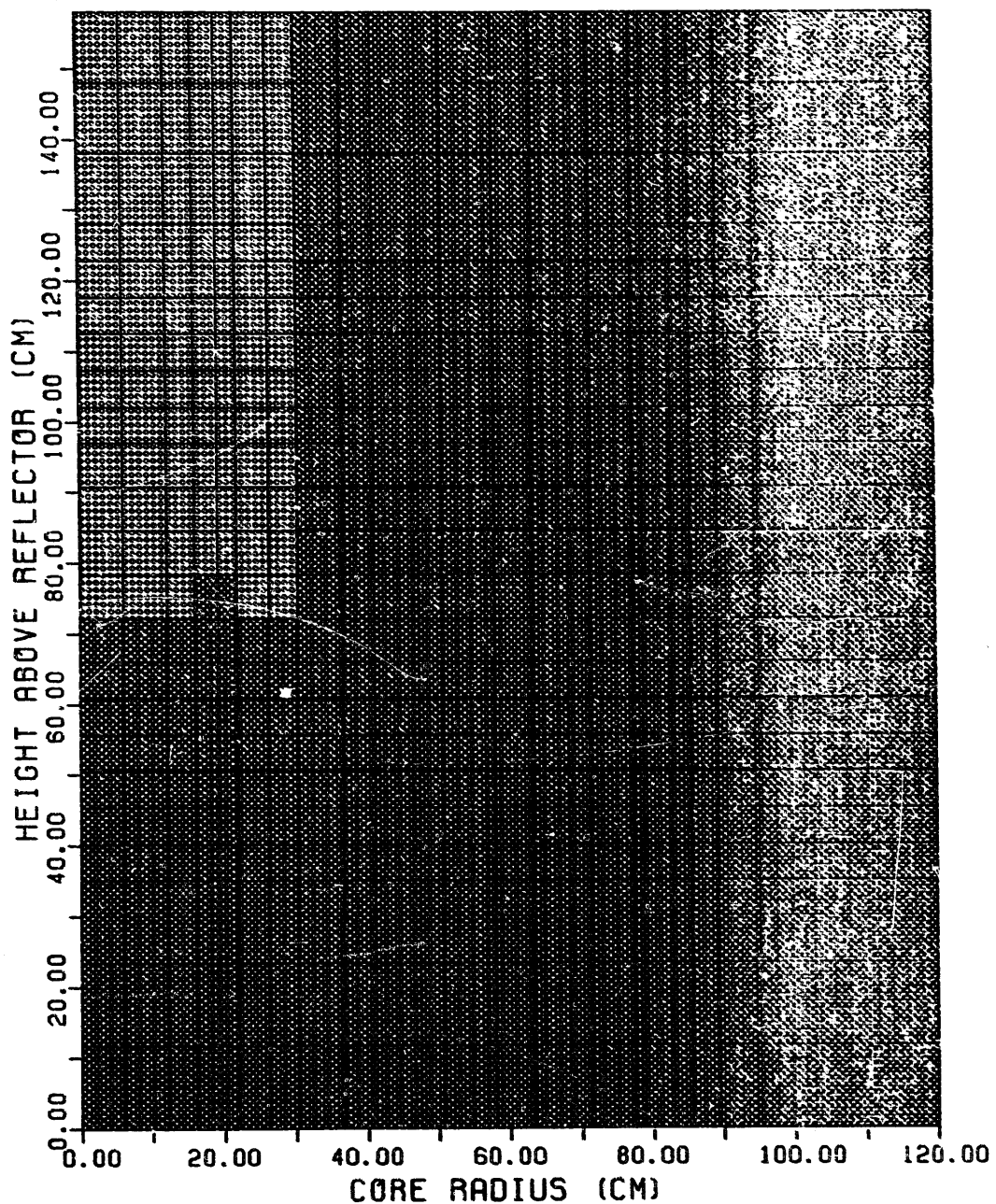


Fig.4.3-12 Coolant void distribution at the end of initiating phase for BOIC TOP. Case ID : TP.BE.C3100

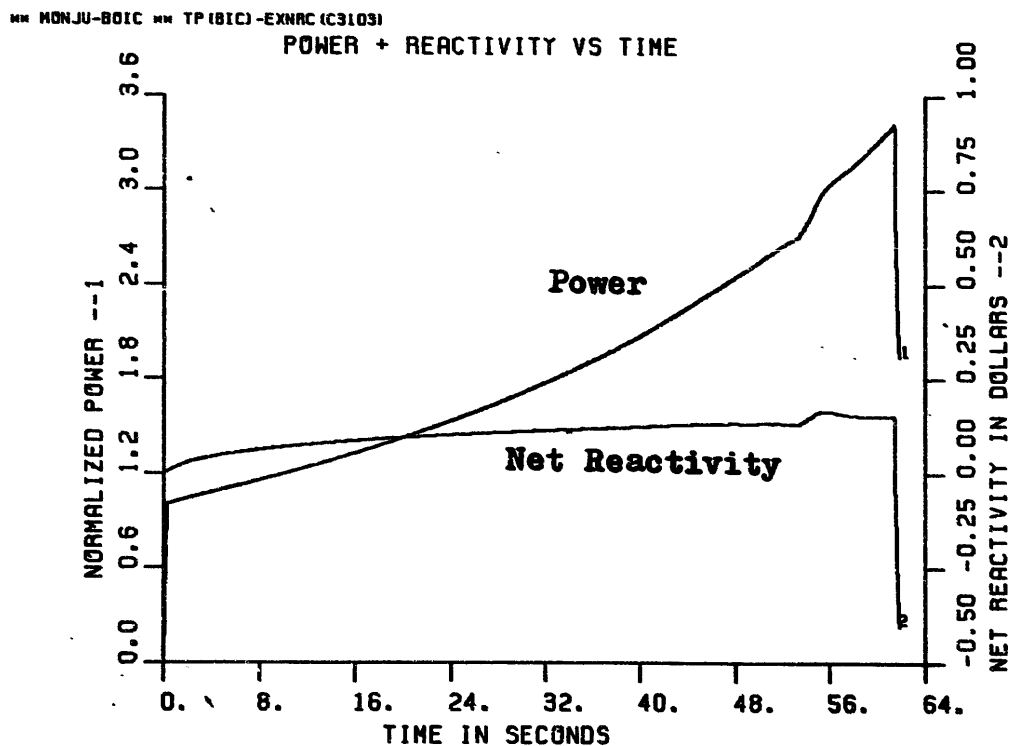
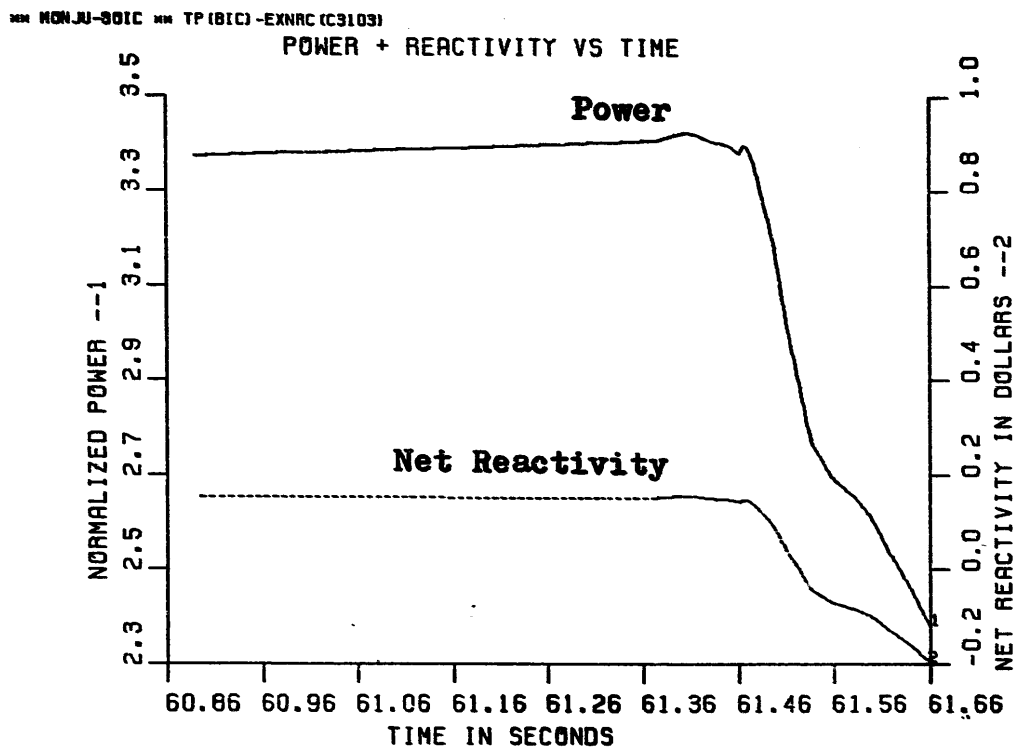


Fig.4.3-13 Power and net reactivity profiles for BOIC TOP
Case ID : TP.EXNRC.C3103

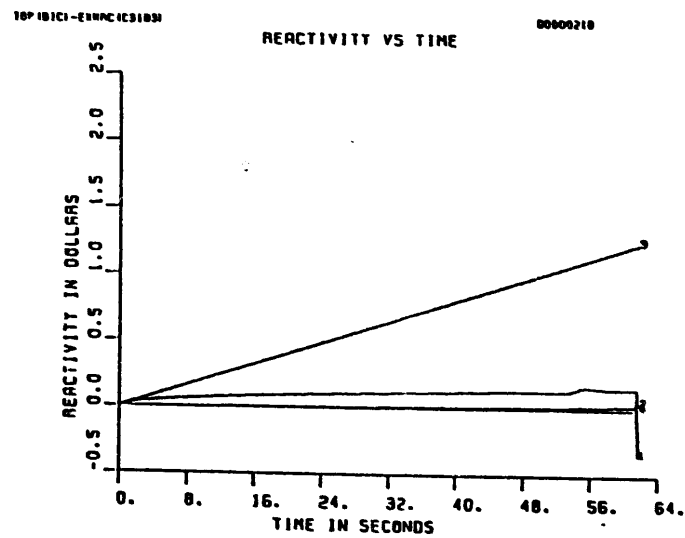
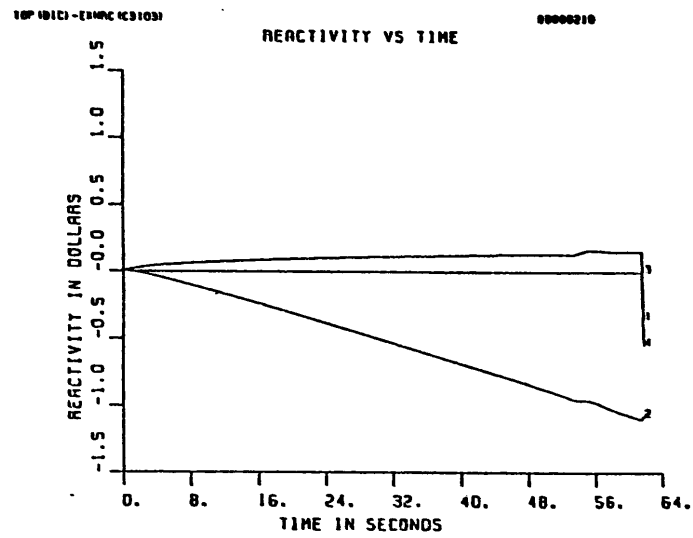


Fig.4.3-14 Component reactivity traces for BOIC TOP (full time)
Case ID : TP.FXNRC.C3103

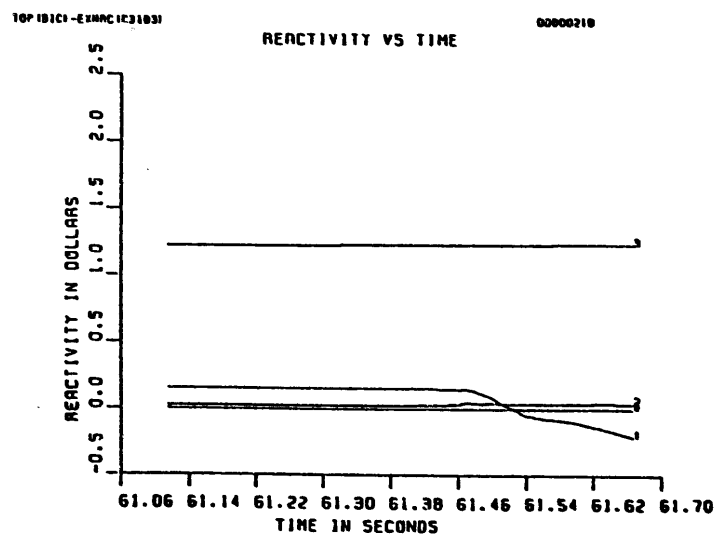
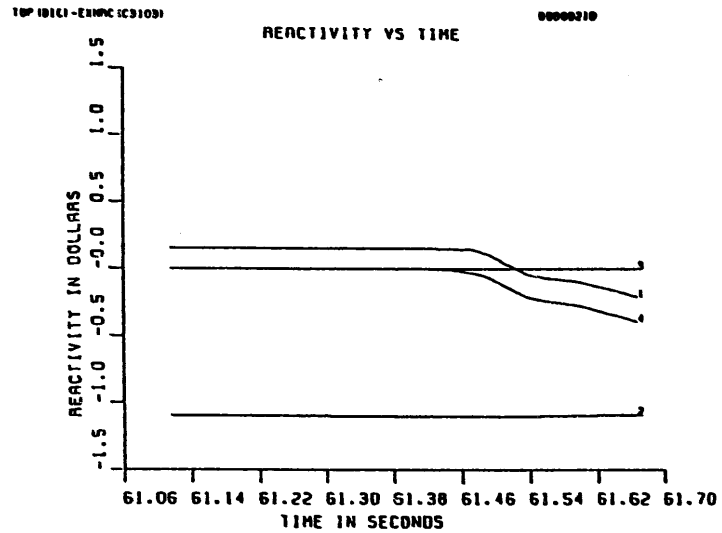


Fig.4.3-15 Component reactivity traces for BOIC TOP
Case ID : TP.EXNRC.C3103

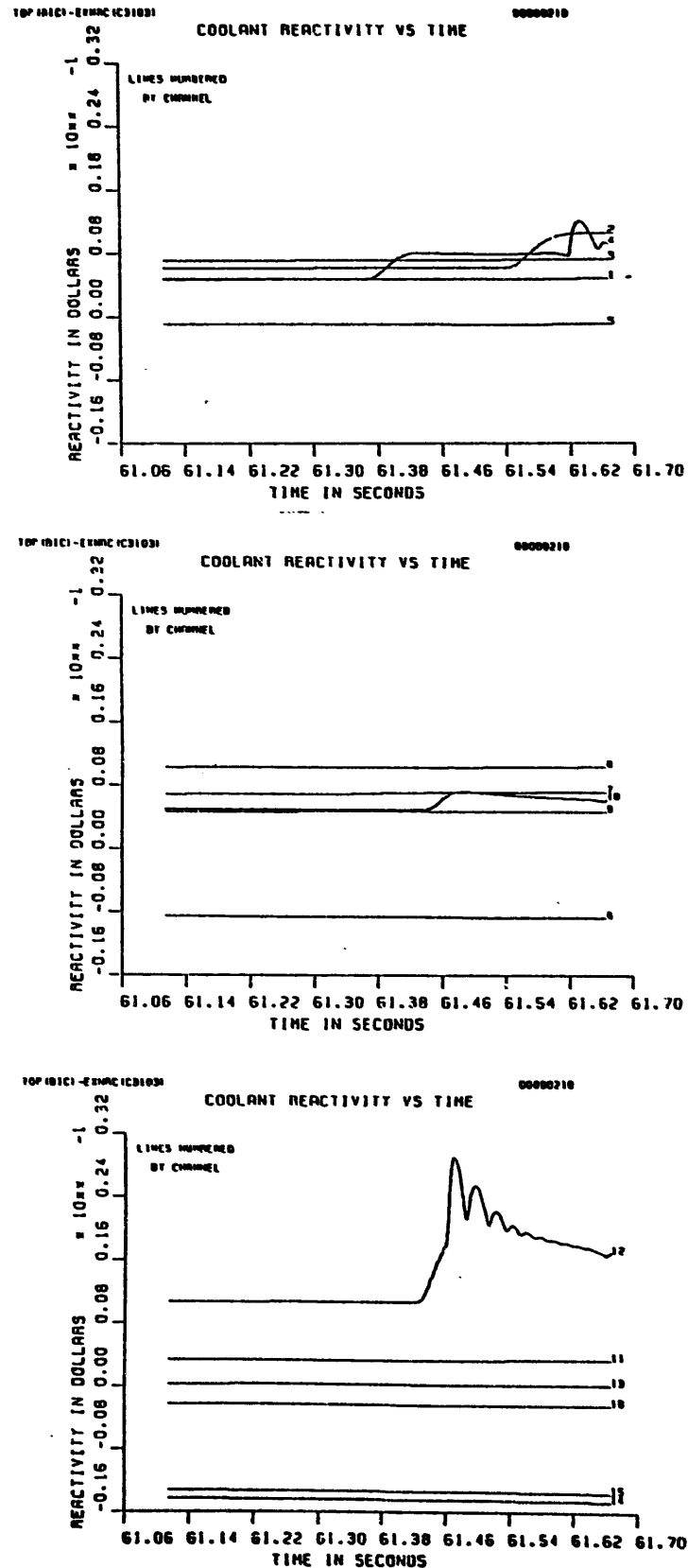


Fig.4.3-16 Coolant reactivity traces by channel for BOIC TOP
Case ID : TP.EXNRC.C3103

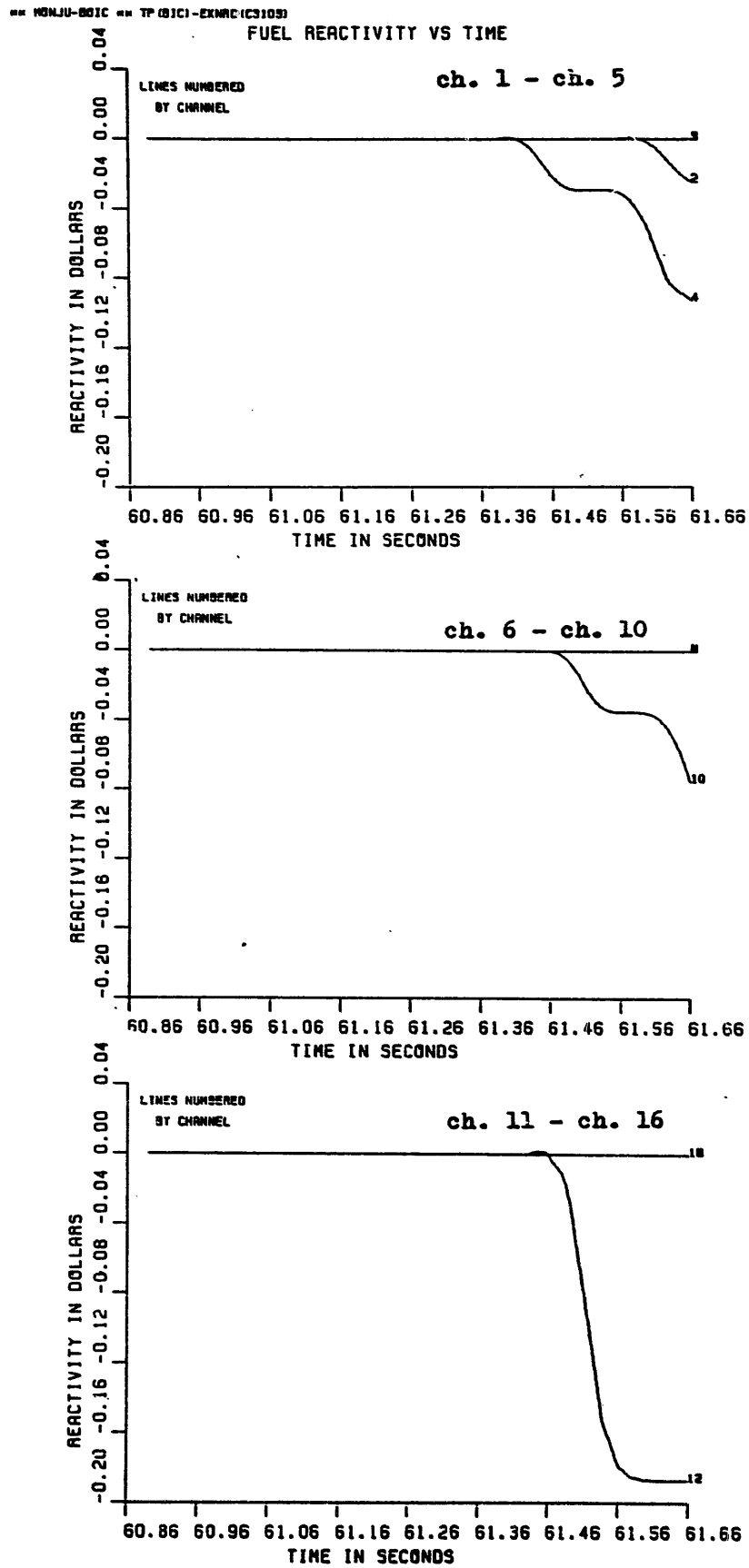


Fig.4.3-17 Fuel reactivity traces by channel for BOIC TOP
Case ID : TP.EXNRC.C3103

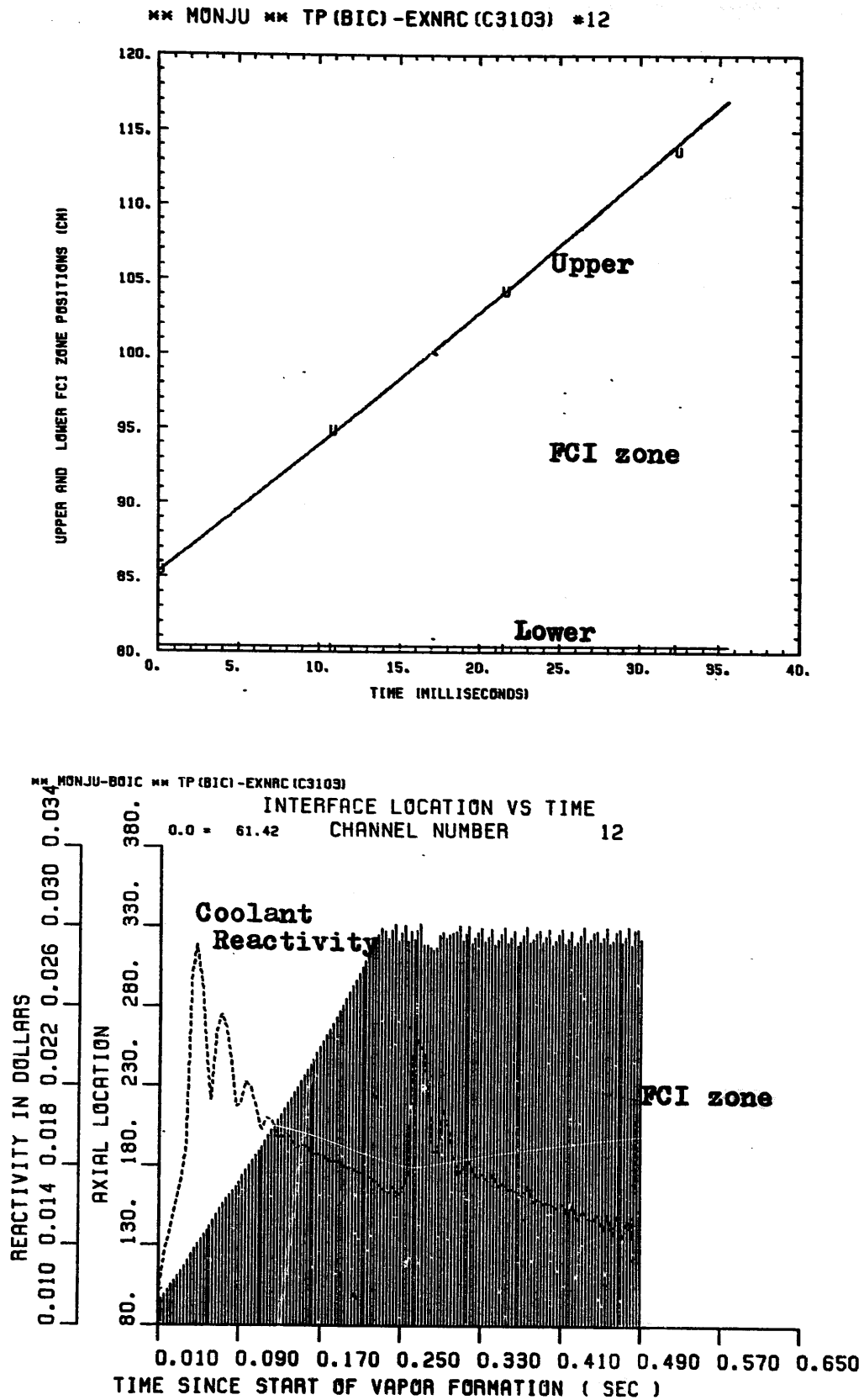
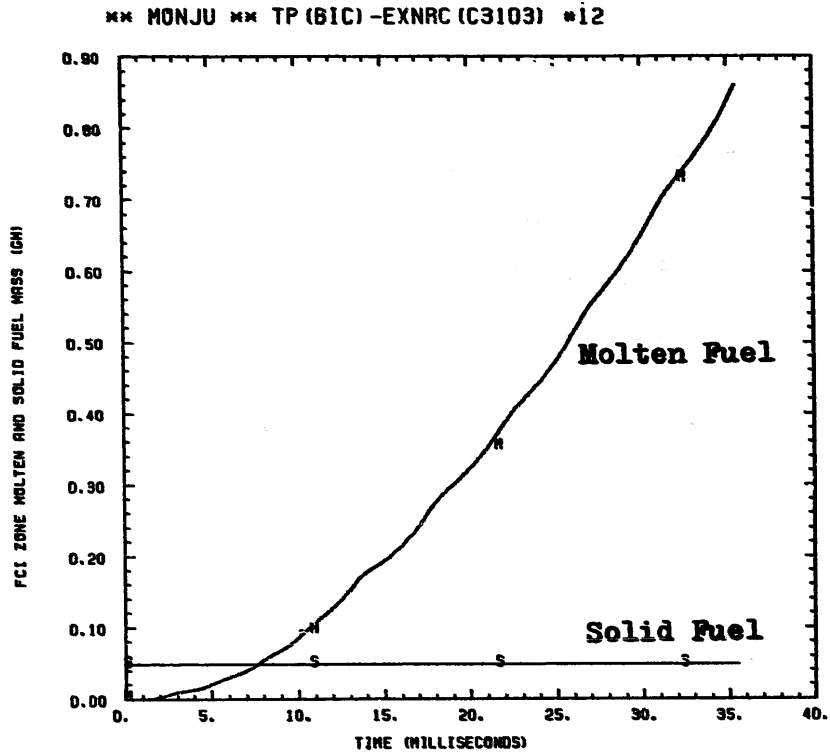
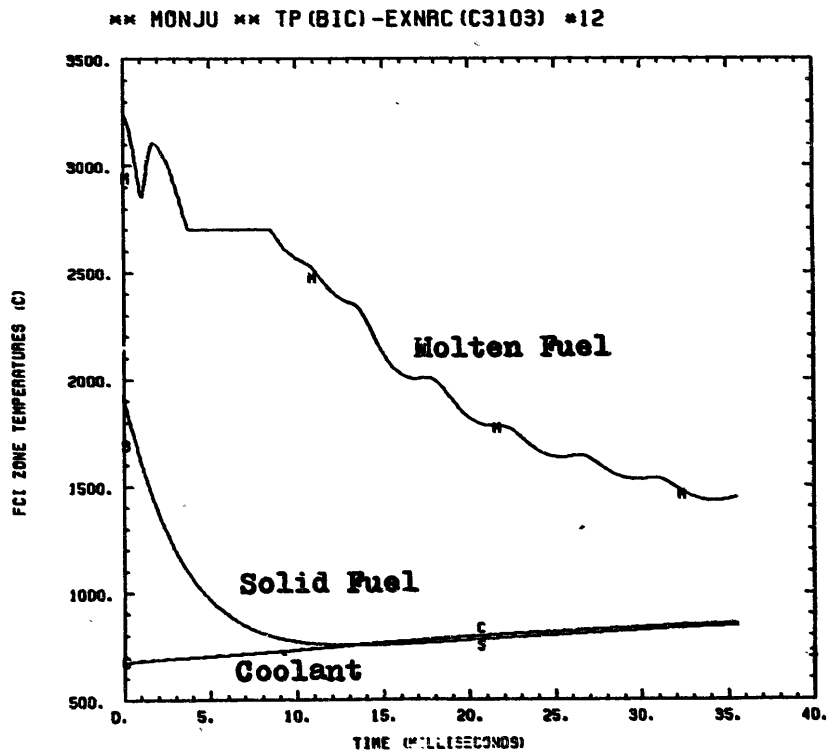


Fig.4.3-18 FCI zone growths in ch.12 for BOIC TOP
Case ID : TP.EXNRC.C3103



(FCI zone Temperature ch. 12)

FCI Zone Fuel Mass for BOIC TOP (TP.EXNRC.C3103).



(FCI zone Temperature ch. 12)

Fig.4.3-19 Ejected fuel mass and FCI zone temperatures in ch.12 for BOIC TOP. Case ID : TP.EXNRC.C3103

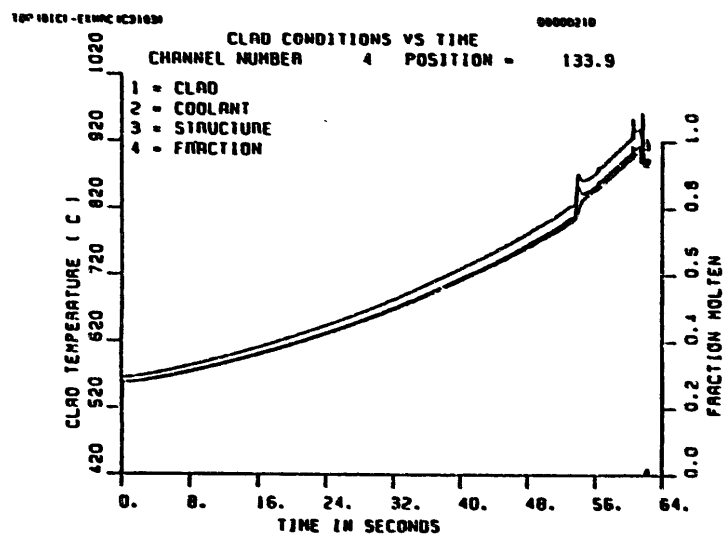
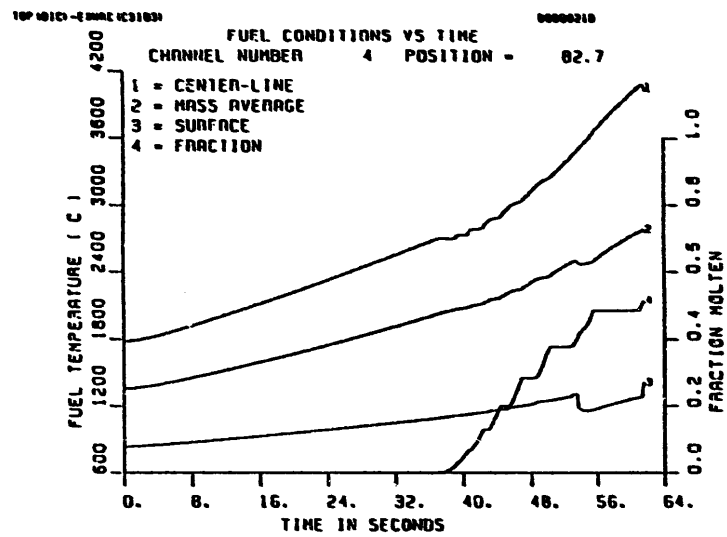


Fig.4.3-20 Fuel and cladding temperatures in ch.4 for
TP.EXNRC.C3103

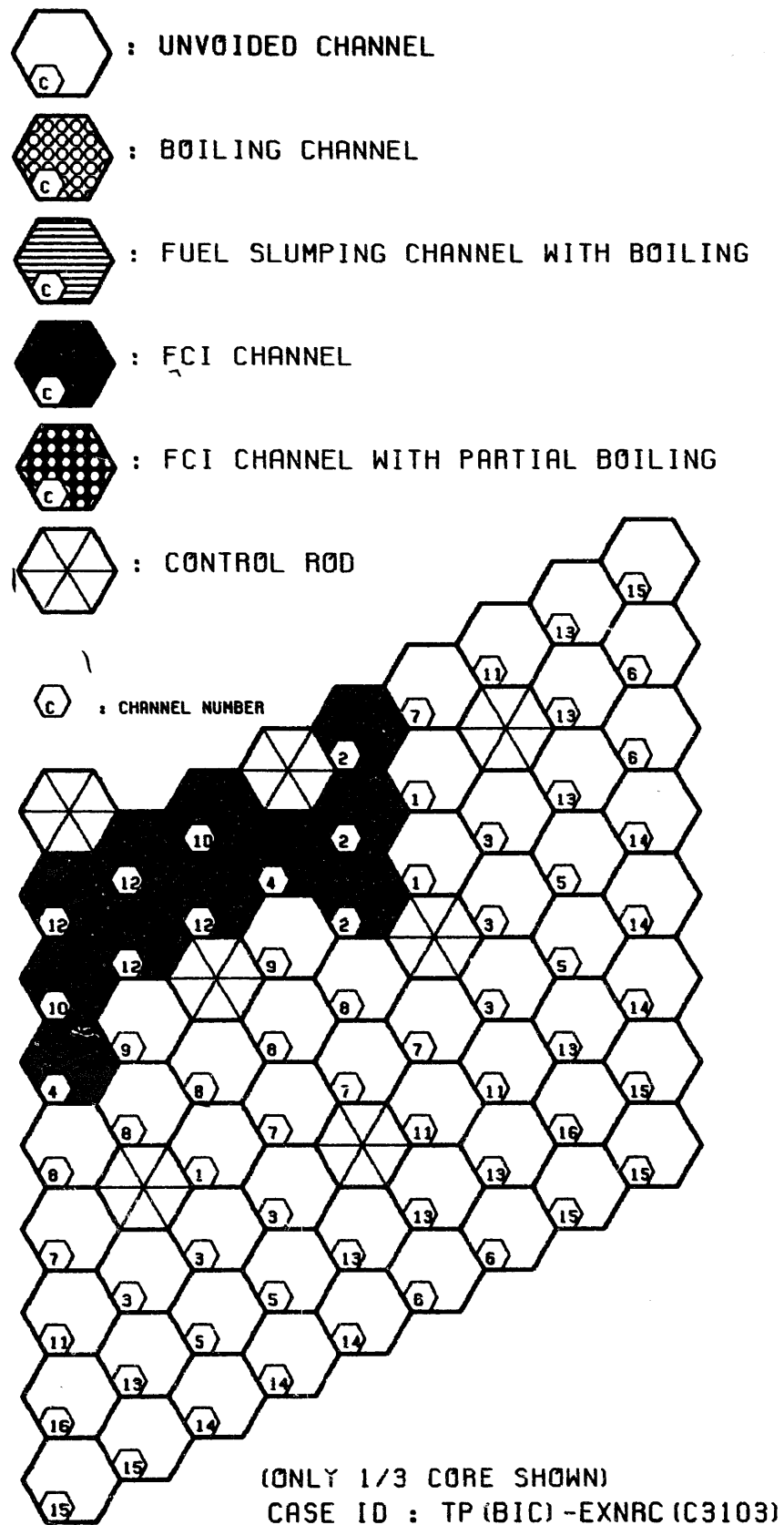
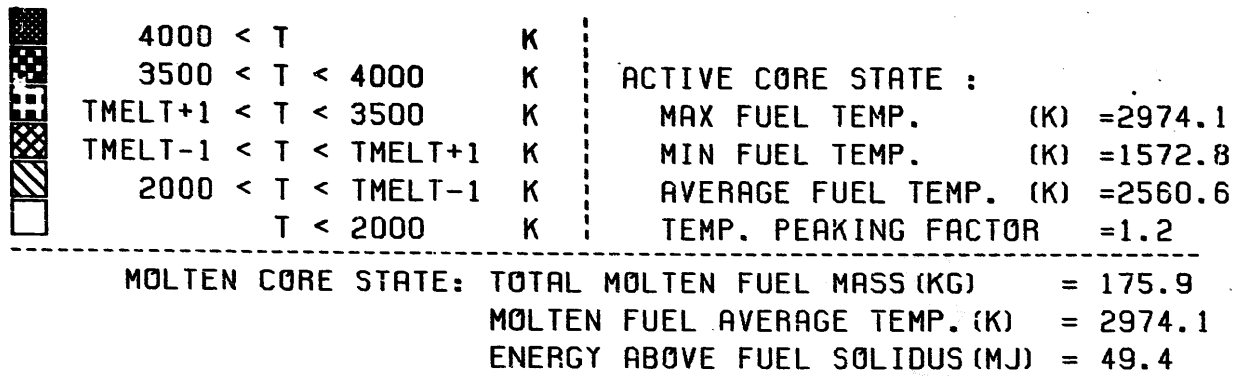


Fig.4.3-21 Core state at the end of initiating phase for BOIC TOP
Case ID : TP.EXNRC.C3103



TP.EXNRC (C3103) STP1500

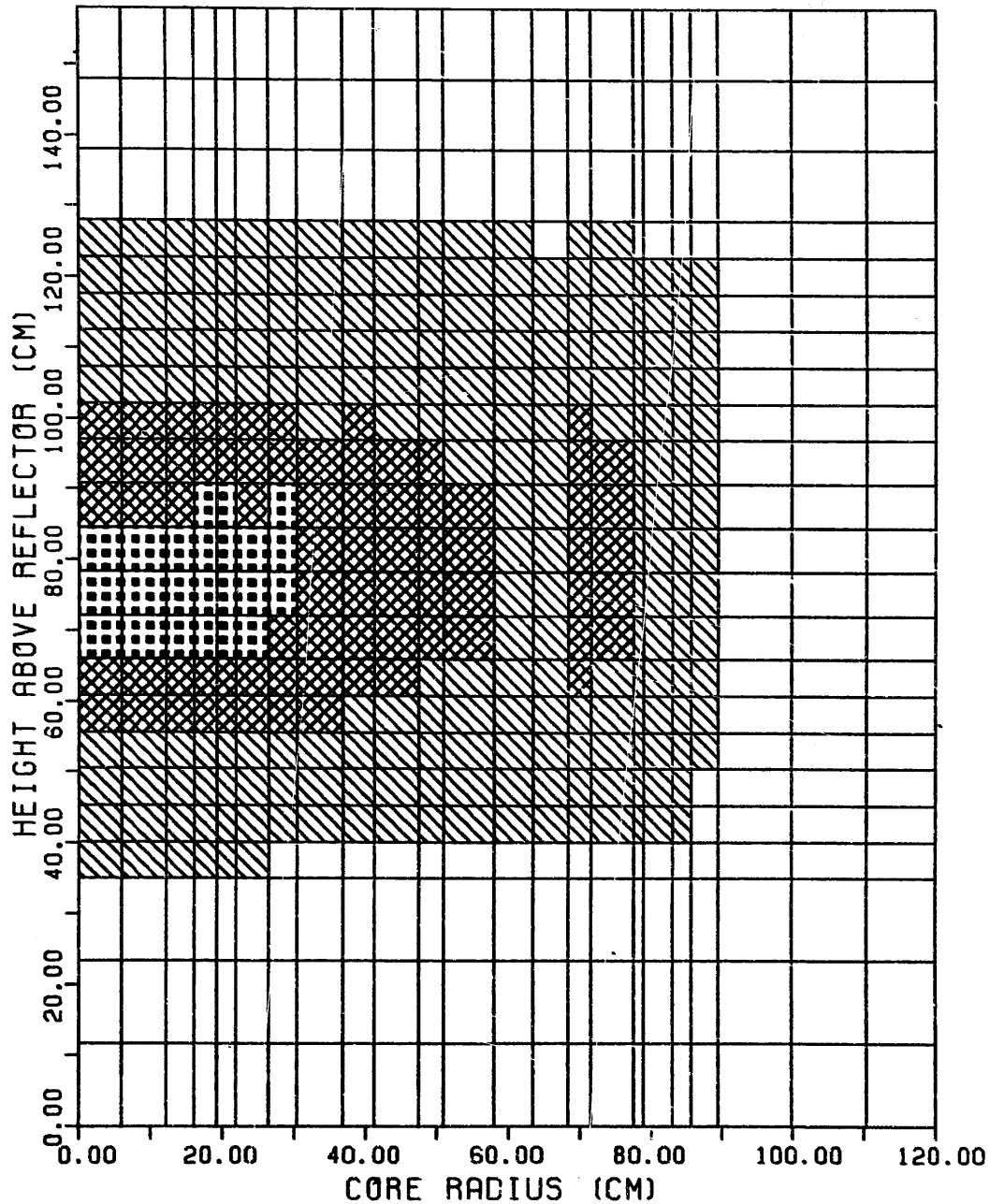
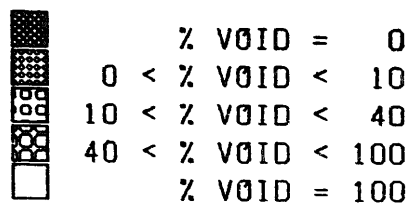


Fig.4.3-22 Fuel temperature distribution at the end of initiating phase for BOIC TOP. Case ID : TP.EXNRC.C3103



TP.EXNRC (C3103) STP1500

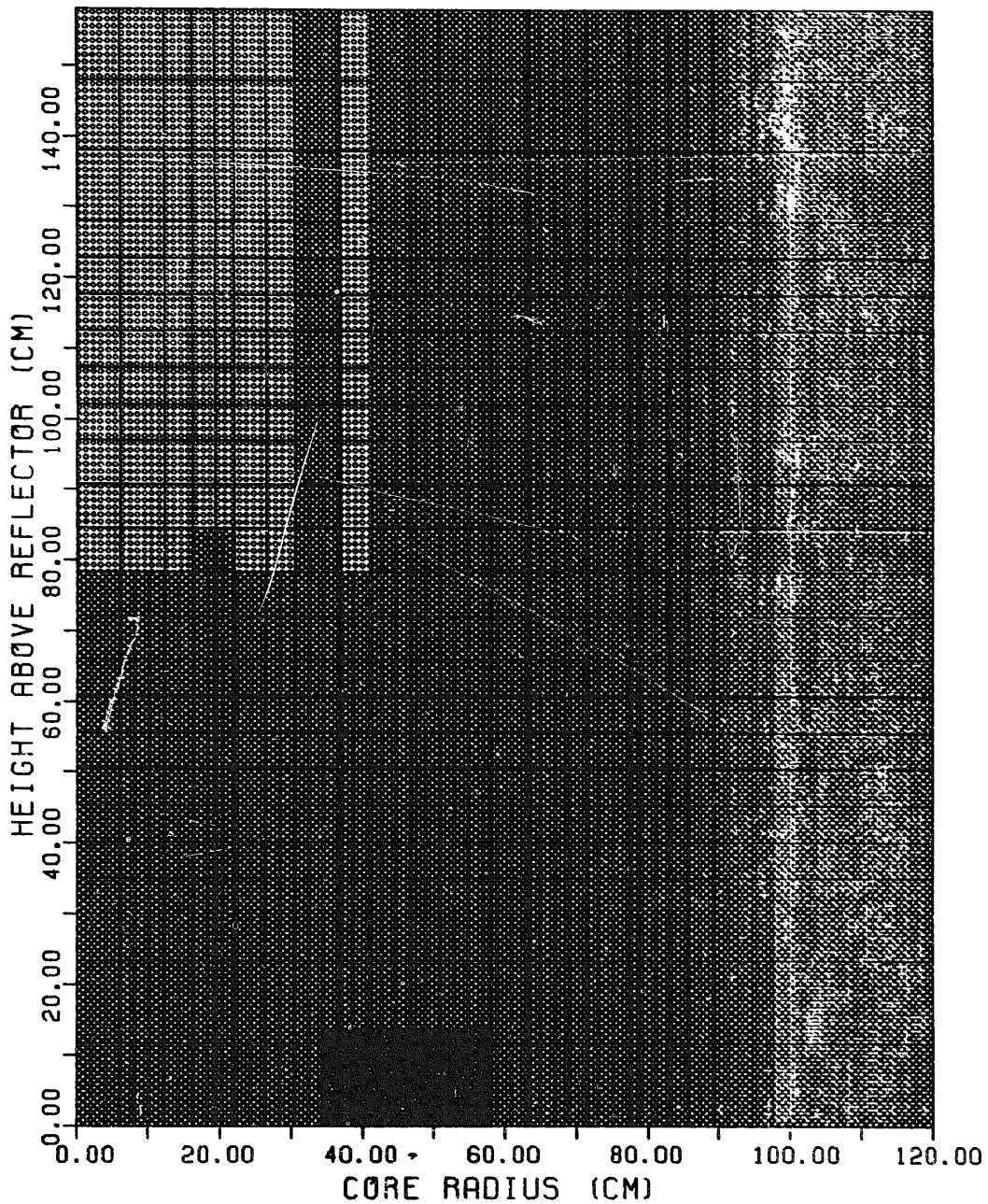


Fig.4.3-23 Coolant void distribution at the end of initiating phase for BOIC TOP. Case ID : TP.EXNRC.C3103

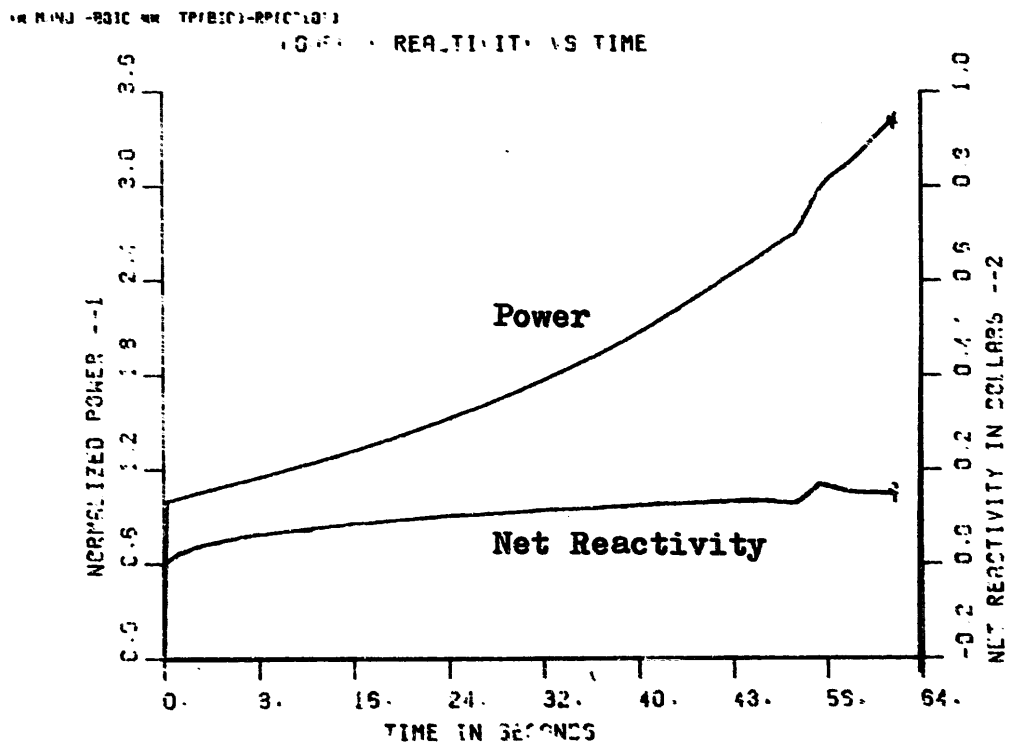
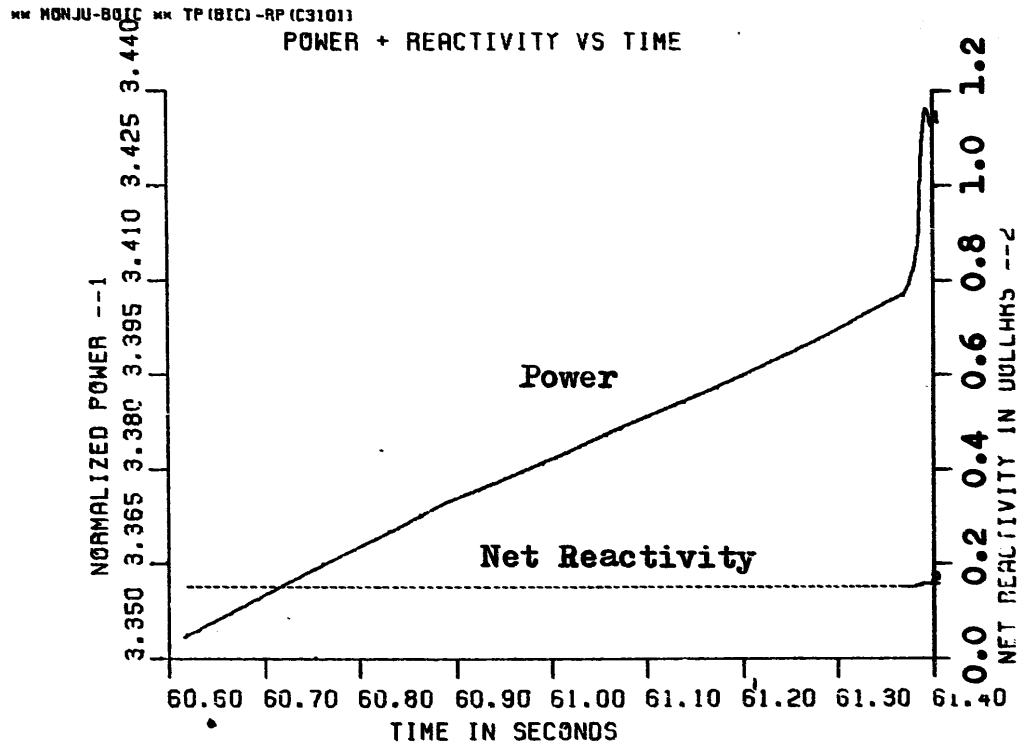


Fig.4.3-24 Power and net reactivity profiles for BOIC TOP
Case ID : TP.RP.C3101

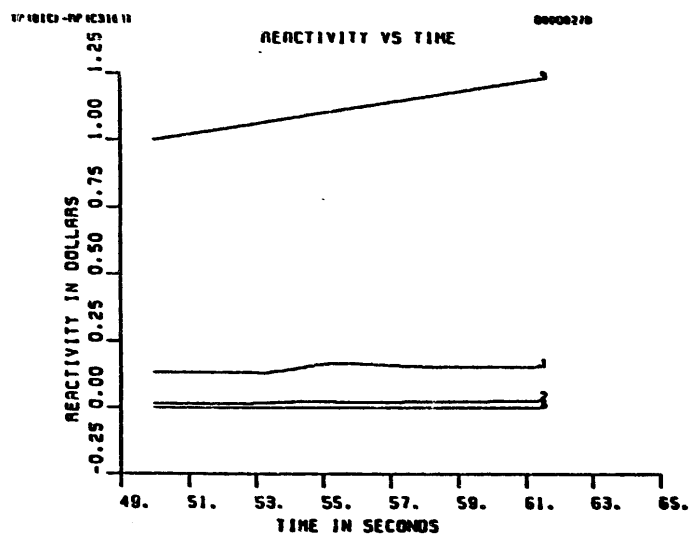
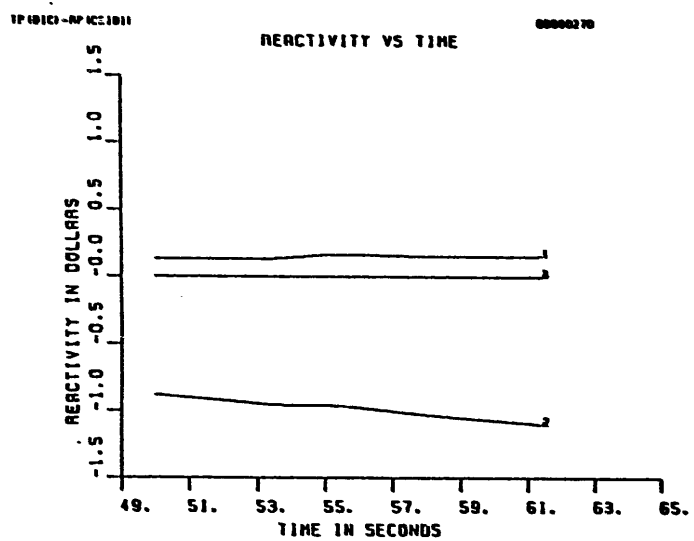


Fig.4.3-25 Component reactivity traces for BOIC TOP
Case ID : TP.RP.C3101

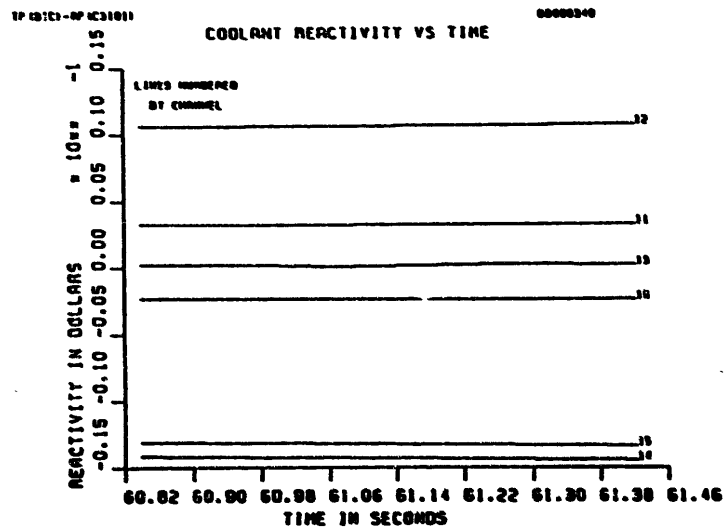
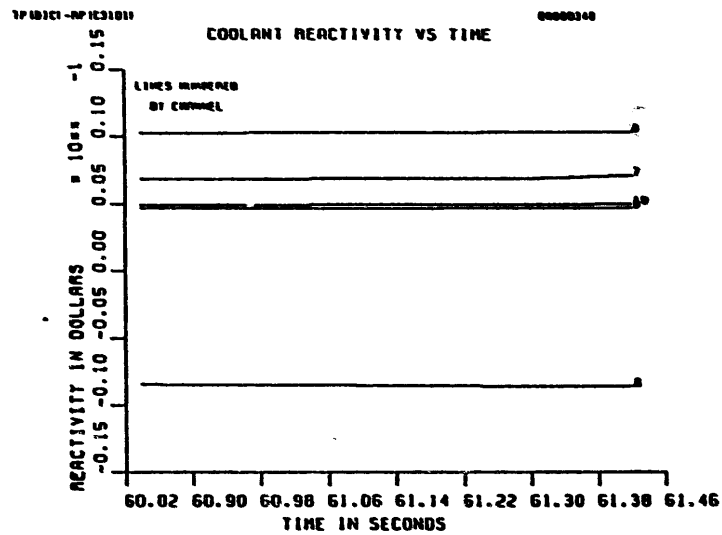
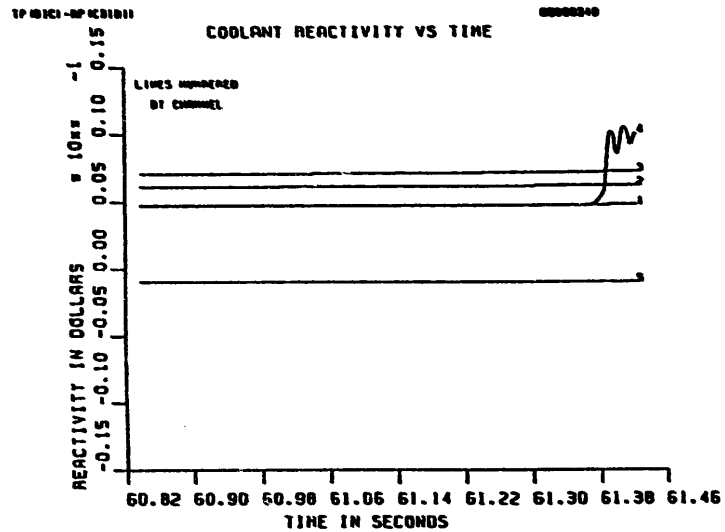


Fig.4.3-26 Coolant reactivity traces by channel for BOIC TOP
Case ID : TP.RP.C3101

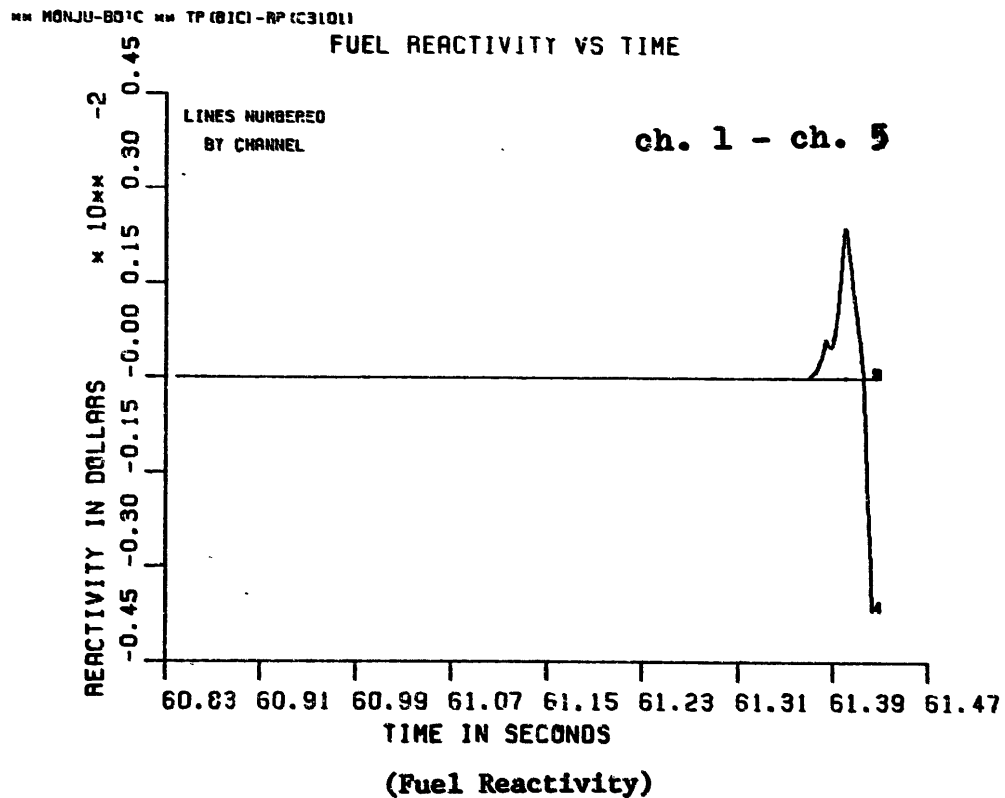
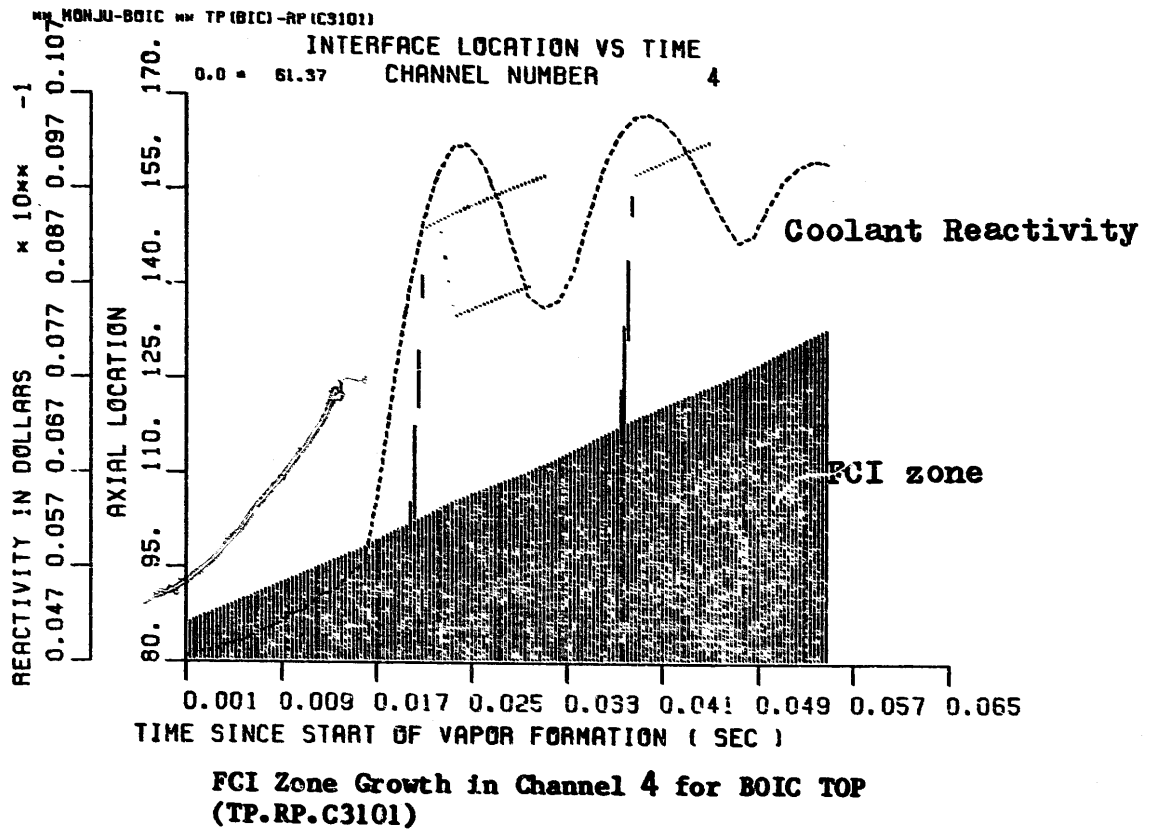


Fig.4.3-27 FCI zone growth and fuel reactivity trace in ch.5 for BOIC TOP. Case ID : TP.RP.C3101

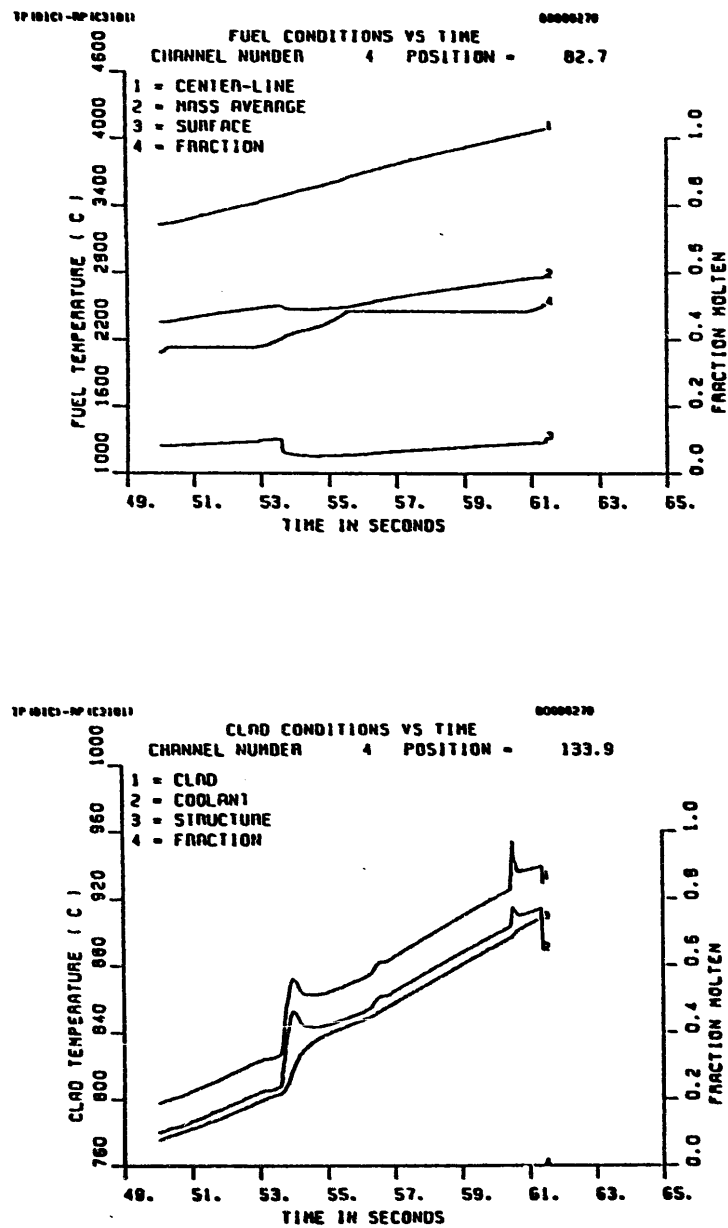


Fig.4.3-28 Fuel and cladding temperature histories in ch.4 for BOIC TOP. Case ID : TP.RP.C3101

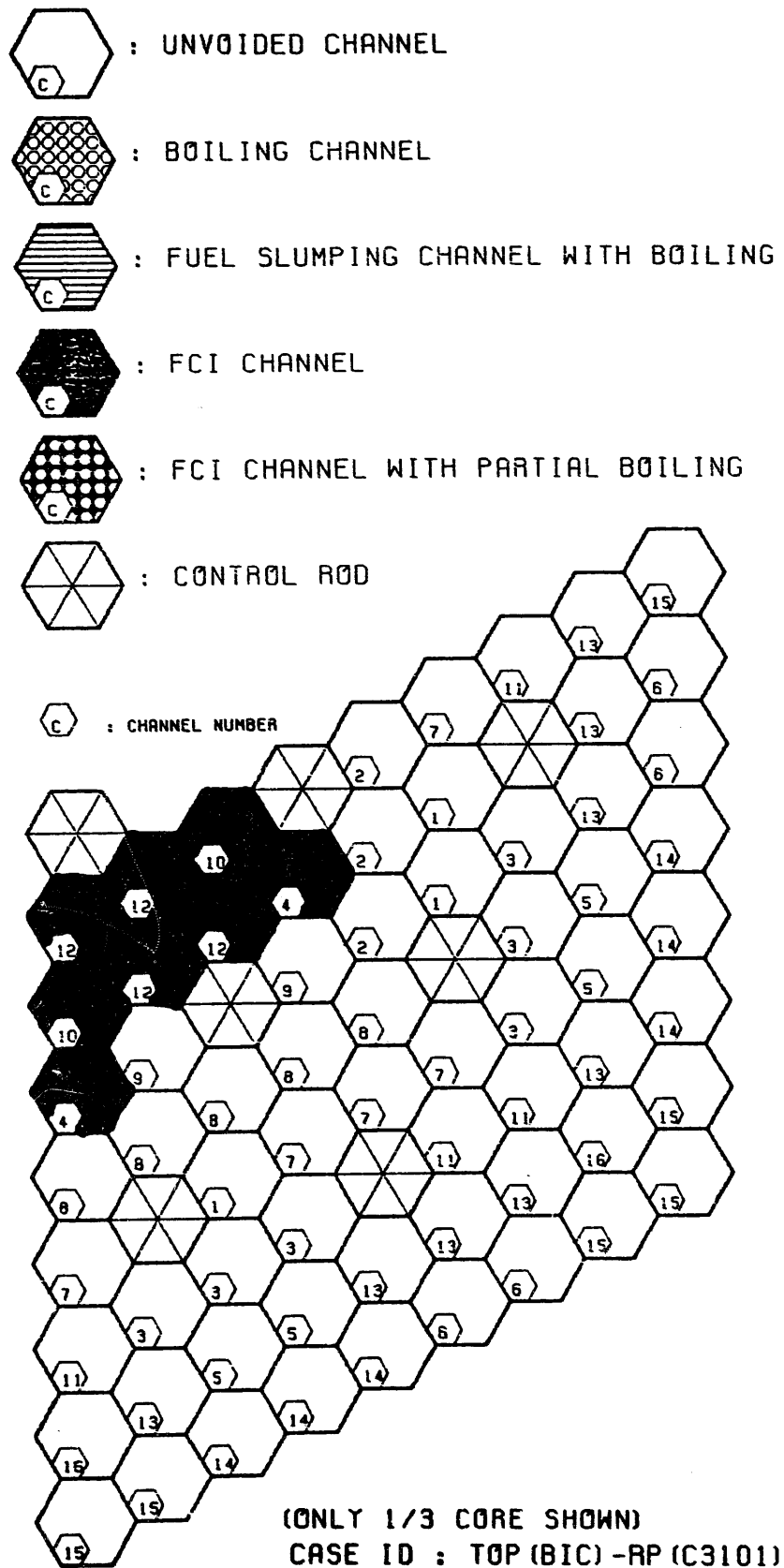


Fig.4.3-29 Core state at the end of initiating phase for BOIC TOP
Case ID : TP,RP,C3101

	4000 < T	K	ACTIVE CORE STATE :		
	3500 < T < 4000	K		MAX FUEL TEMP. (K)	=2974.1
	TMELT+1 < T < 3500	K		MIN FUEL TEMP. (K)	=1581.1
	TMELT-1 < T < TMELT+1	K		AVERAGE FUEL TEMP. (K)	=2569.7
	2000 < T < TMELT-1	K		TEMP. PEAKING FACTOR	=1.2
	T < 2000	K			
MOLTEN CORE STATE: TOTAL MOLTEN FUEL MASS (KG)				= 209.8	
MOLTEN FUEL AVERAGE TEMP. (K)				= 2974.1	
ENERGY ABOVE FUEL SOLIDUS (MJ)				= 58.9	

TP.RP (C3101) STP1300

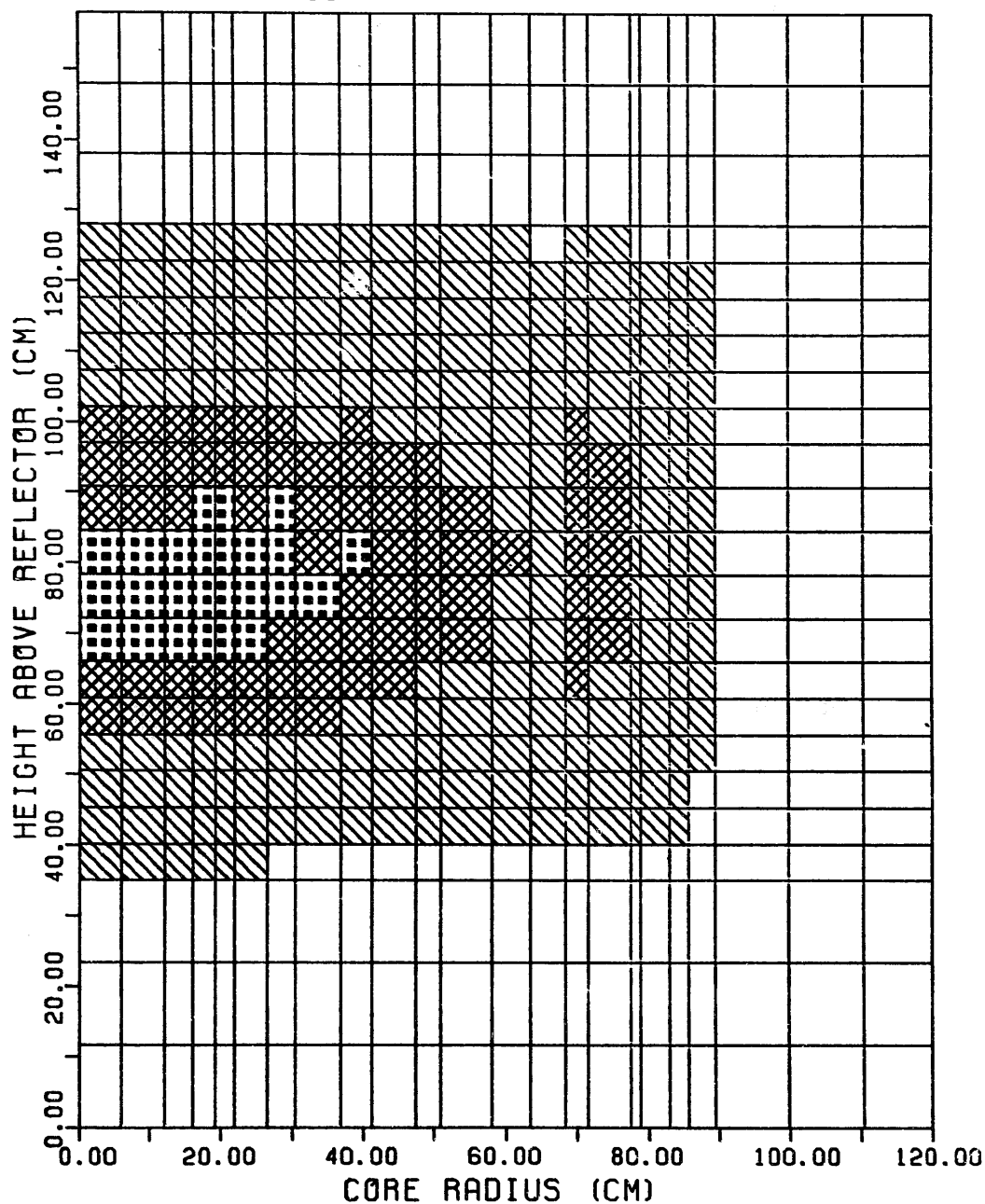
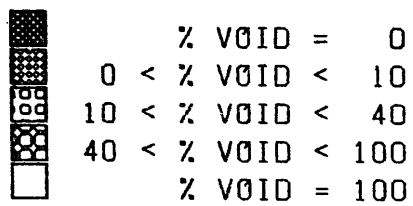


Fig.4.3-30 Fuel temperature distribution at the end of initiating phase for BOIC TOP, Case ID : TP.RP.C3101



TP.RP (C3101) STP1300

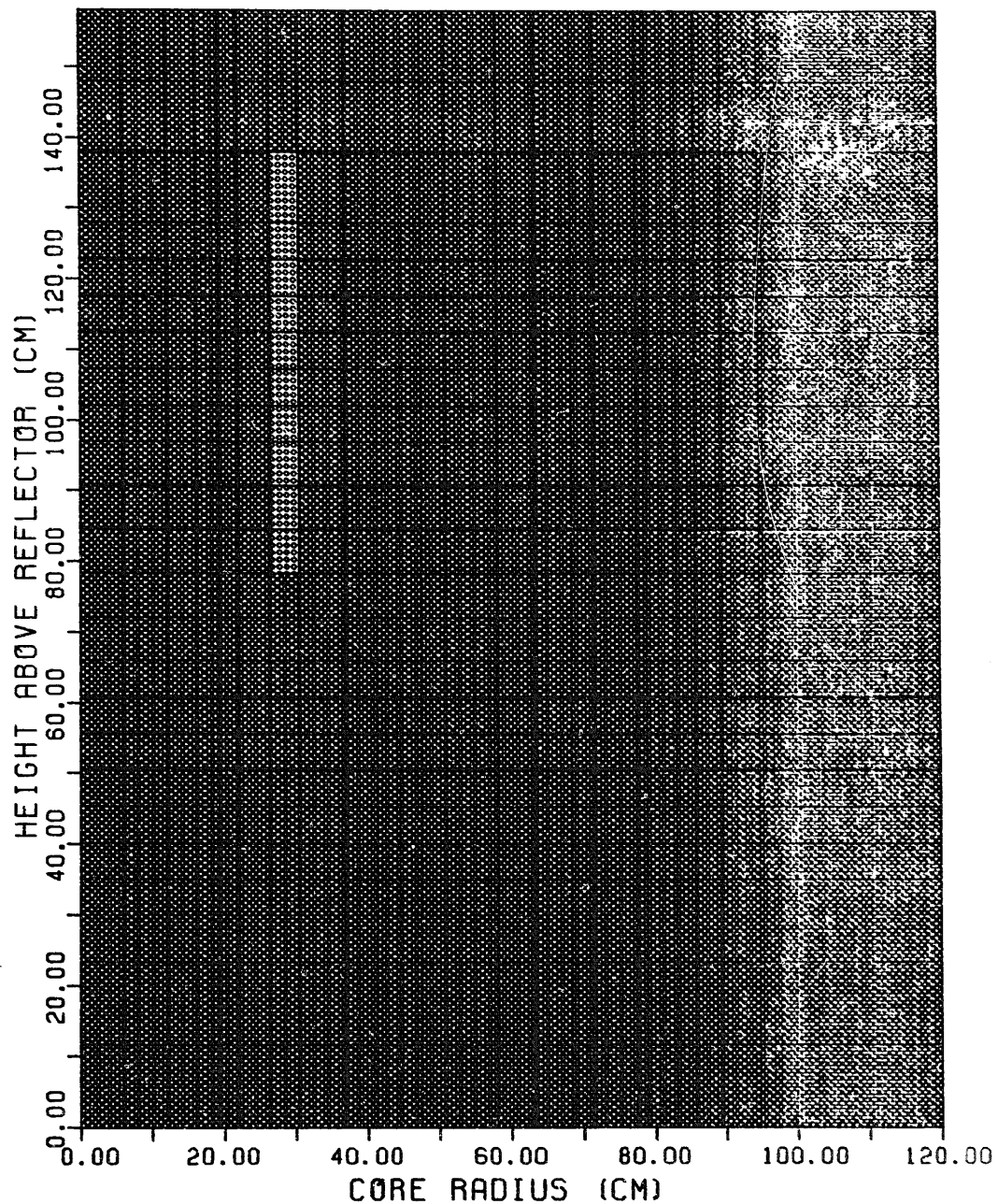


Fig.4.3-31 Coolant void distribution at the end of initiating phase for BOIC TOP. Case ID : TP.RP.C3101

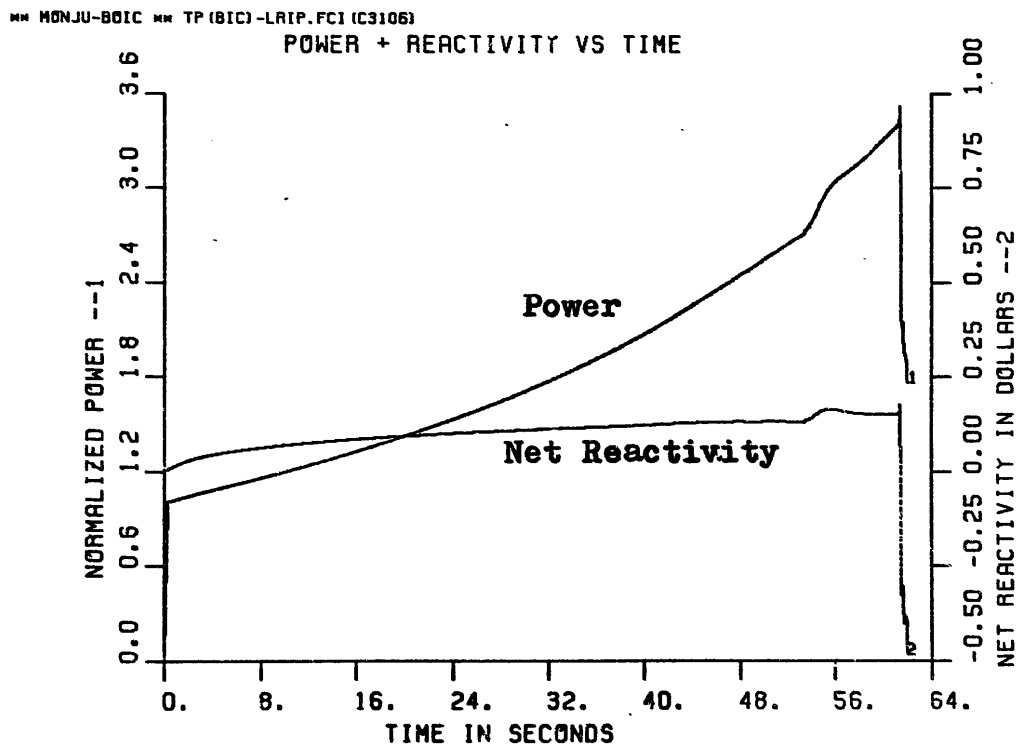
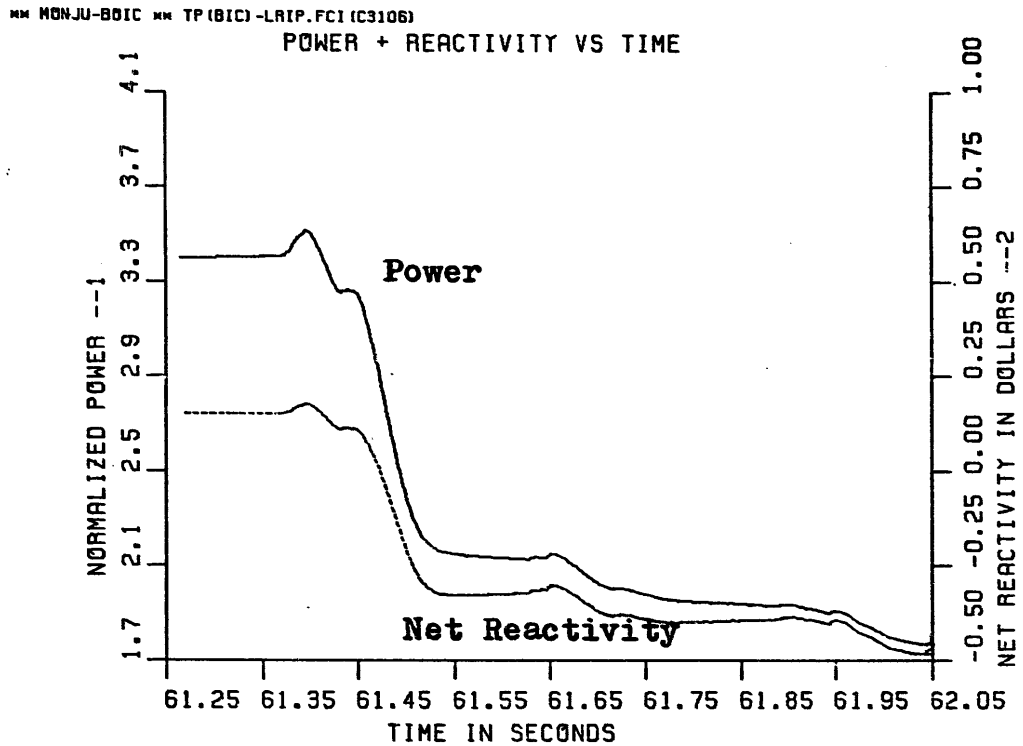


Fig.4.3-32 Power and net reactivity profiles for BOIC TOP
Case ID : TP.LRIP.FCI.C3106

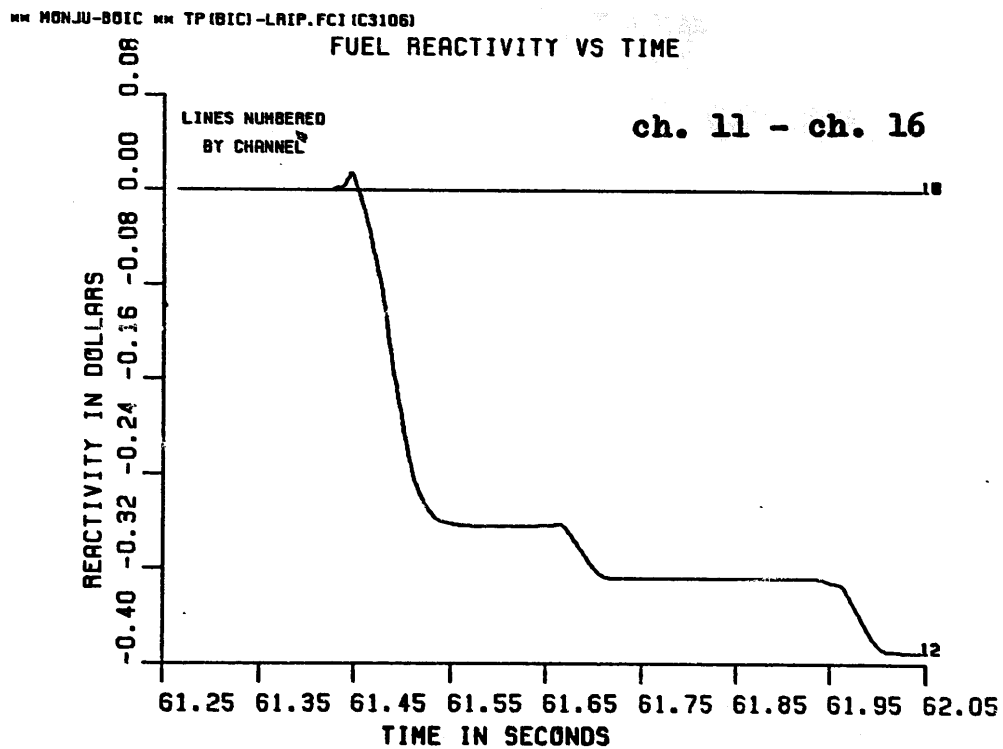
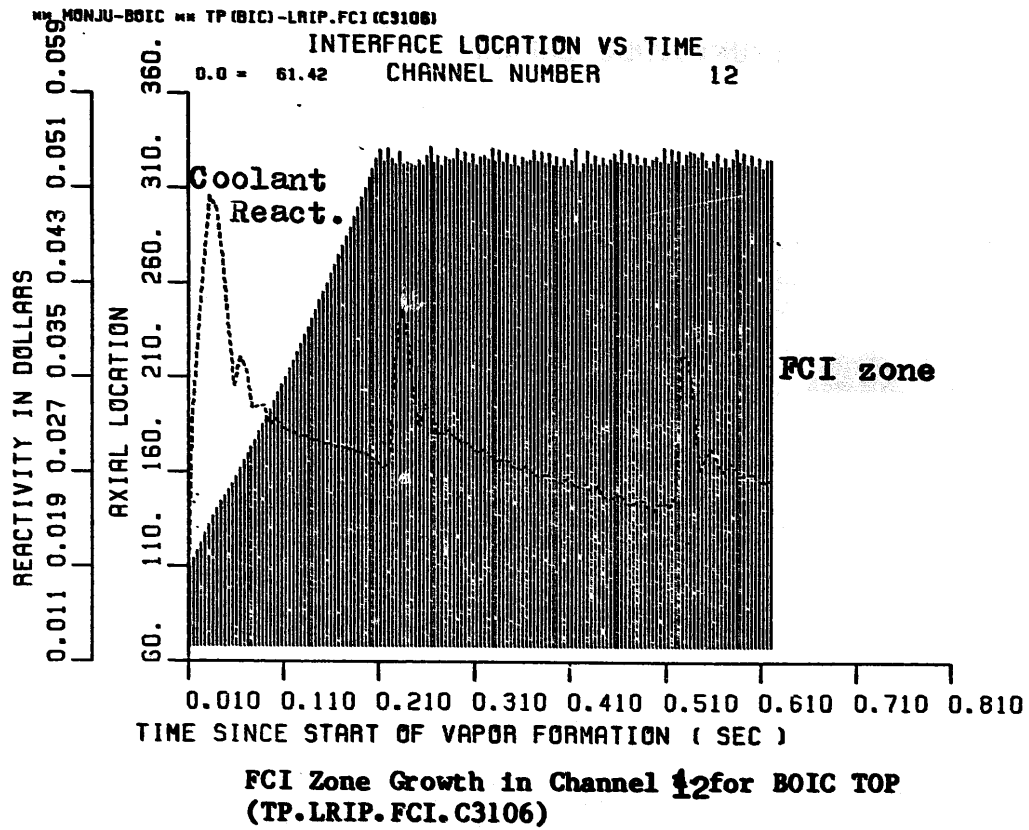
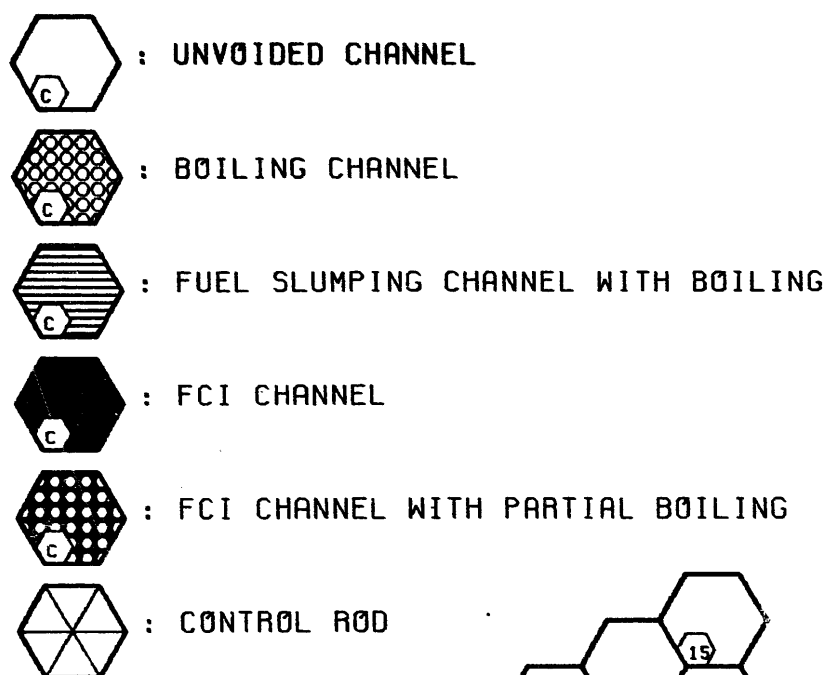
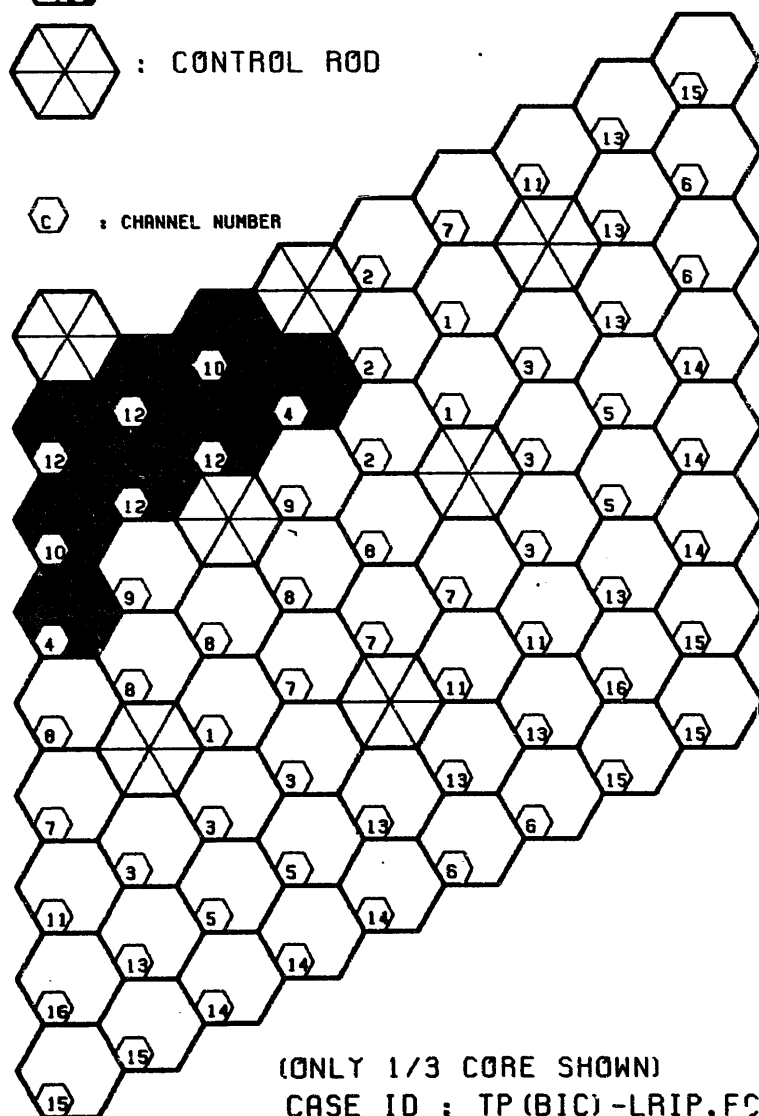


Fig.4.3-33 Coolant reactivity trace, FCI zone growth, and fuel reactivity change in ch.12 for TP.LRIP.FCI.C3106.

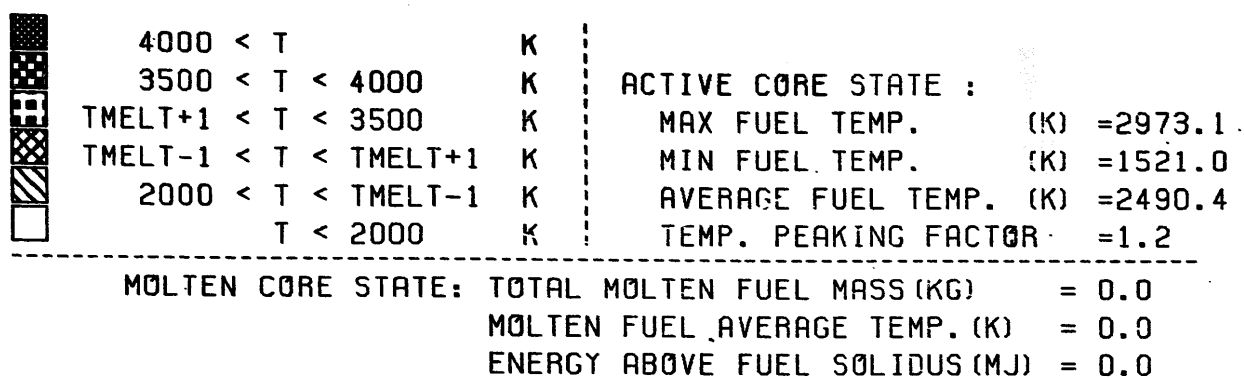


 : CHANNEL NUMBER



(ONLY 1/3 CORE SHOWN)
CASE ID : TP(BIC)-LRIP.FCI(C3106)

Fig.4.3-34 Core state at the end of initiating phase for BOIC TOP
Case ID : TP,LRIP.FCI,C3106



TP.LRIP.FCI (C3106) STP1800

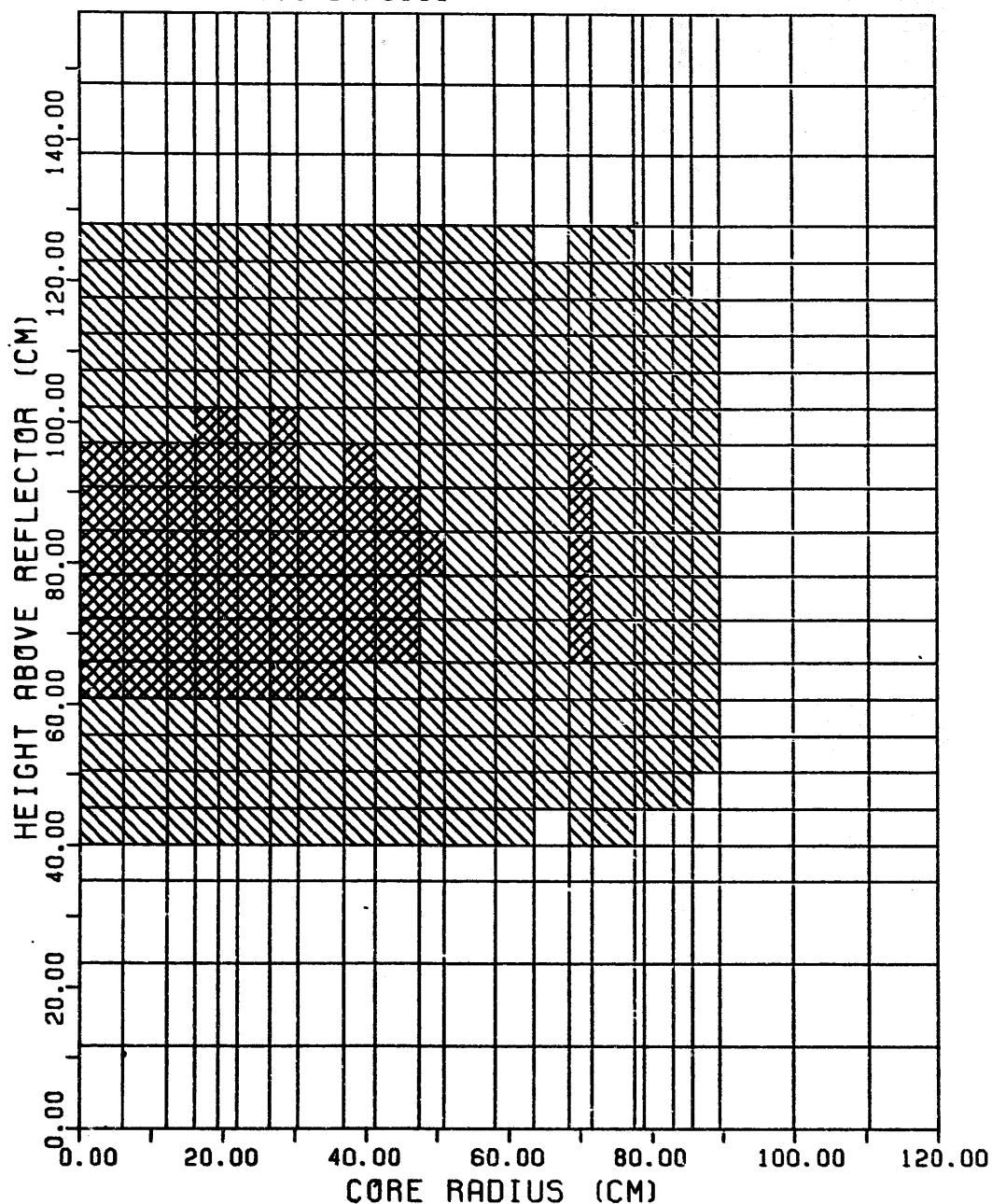
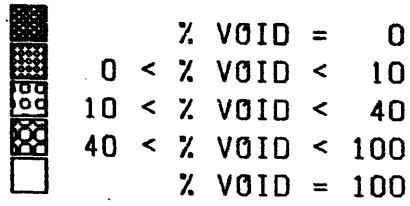


Fig.4.3-35 Fuel temperature distribution at the end of initiating phase for BOIC TOP, Case ID : TP.LRIP.FCI.C3106



TP.LRIP.FCI (C3106) STP1800

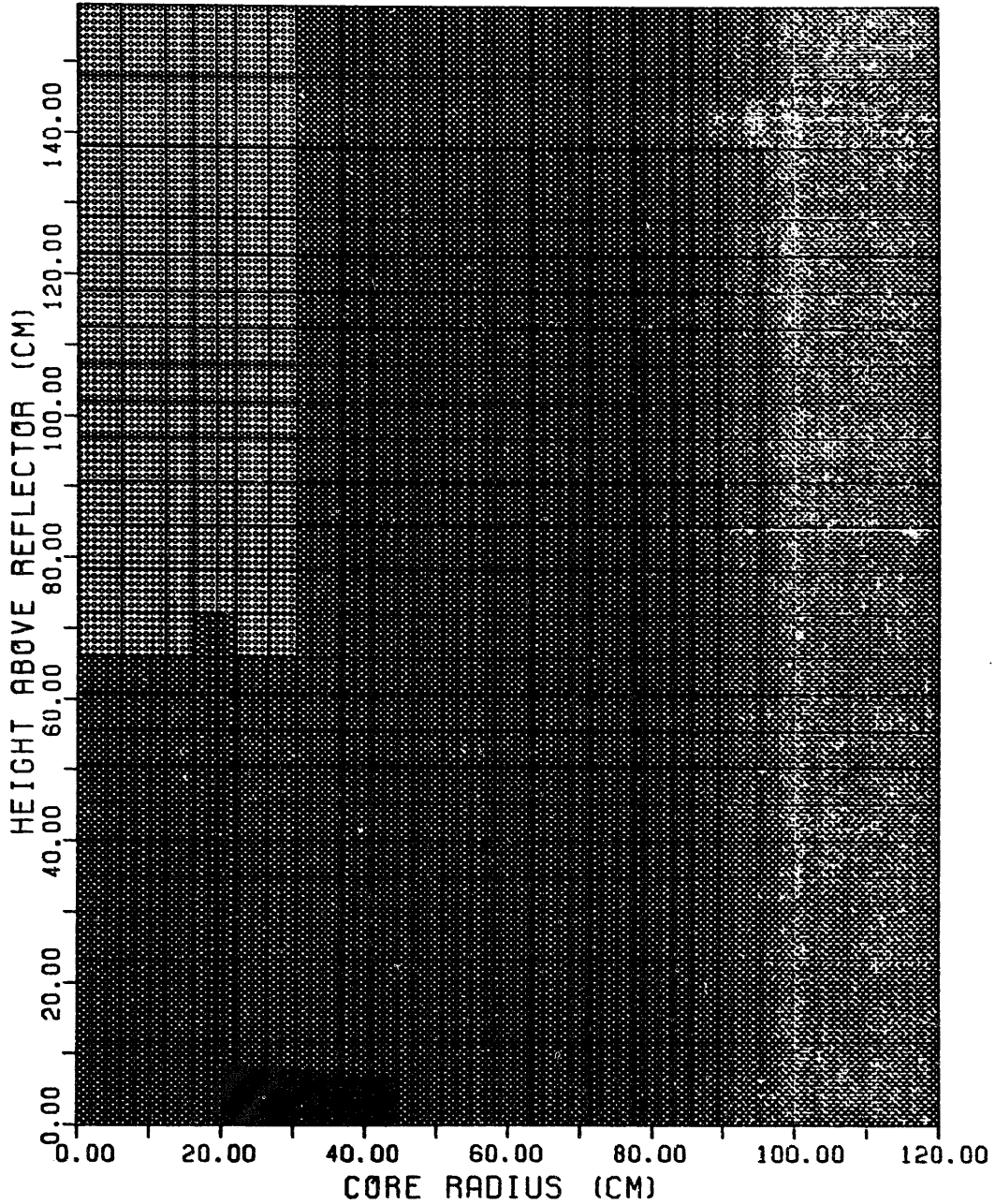


Fig.4.3-36 Coolant void distribution at the end of initiating phase for BOIC TOP. Case ID : TP.LRIP.FCI.C3106

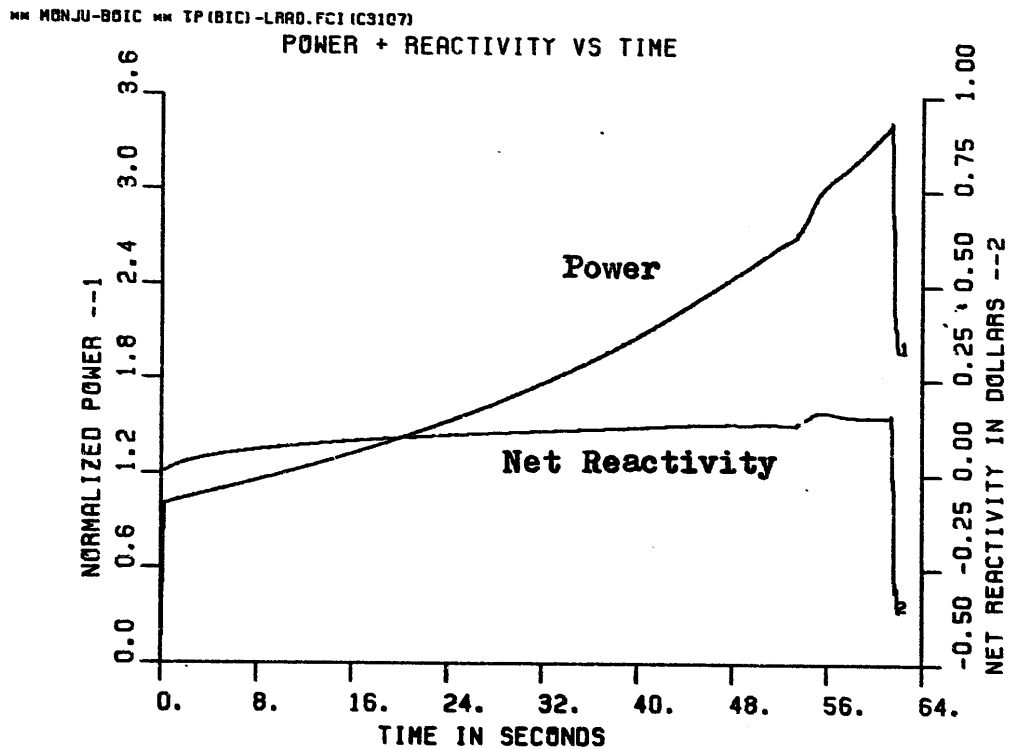
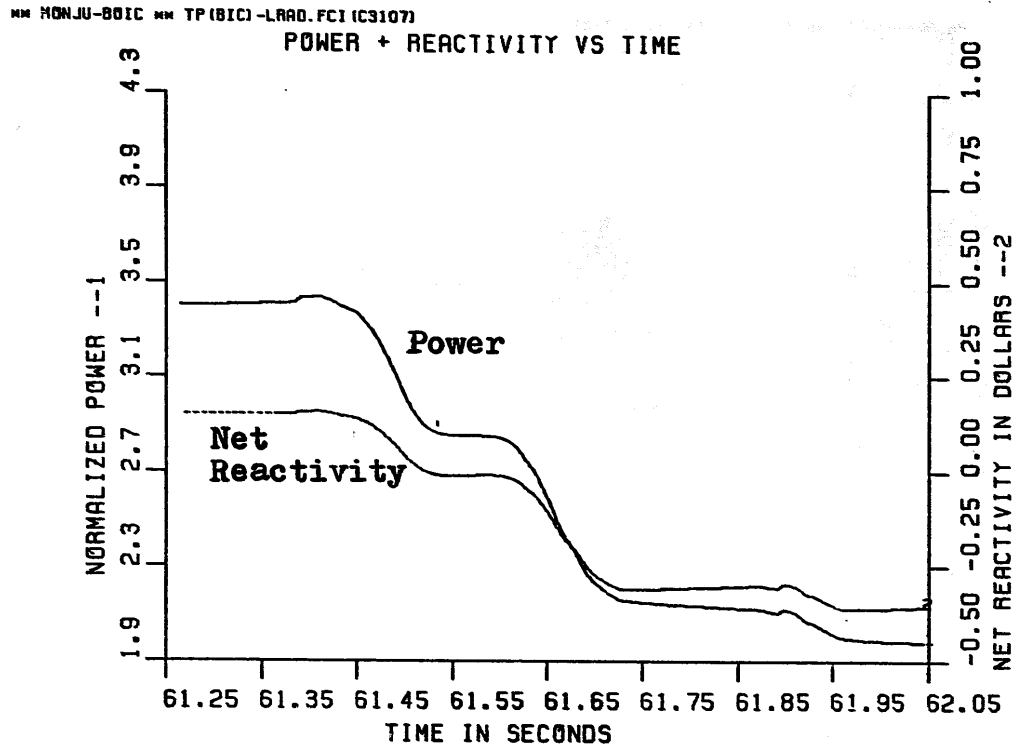
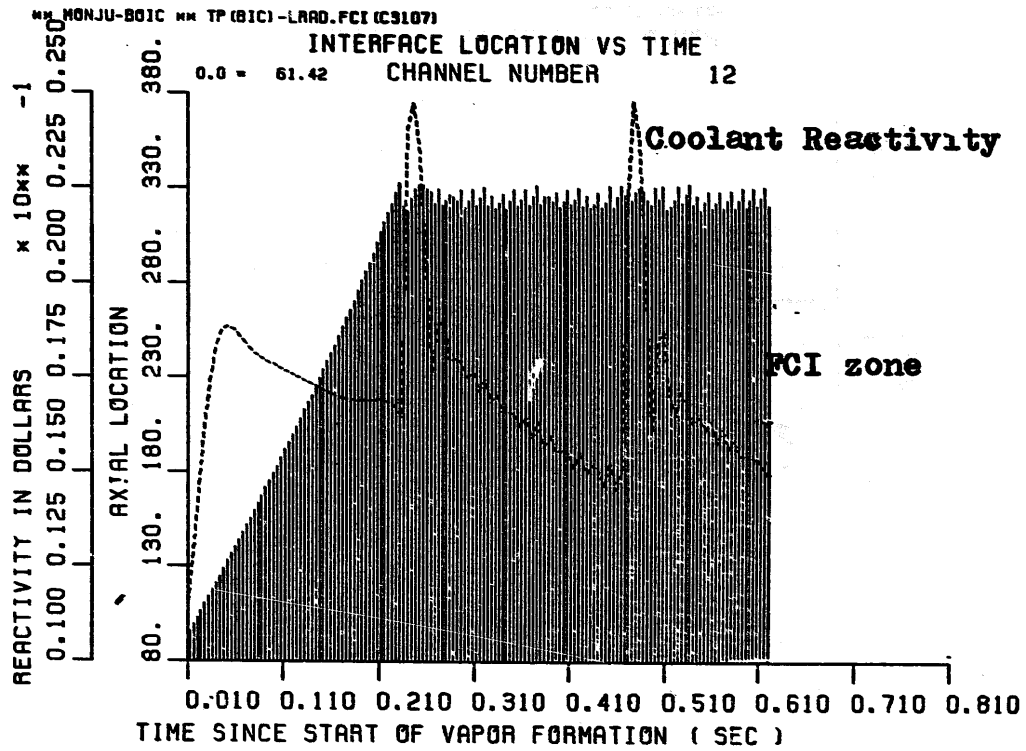


Fig.4.3-37 Power and net reactivity profiles for BOIC TOP
Case ID : TP.LRAD.FCI.C3107



FCI Zone Growth in Channel 12 for BOIC TOP
(TP.LRAD.FCI.C3107)

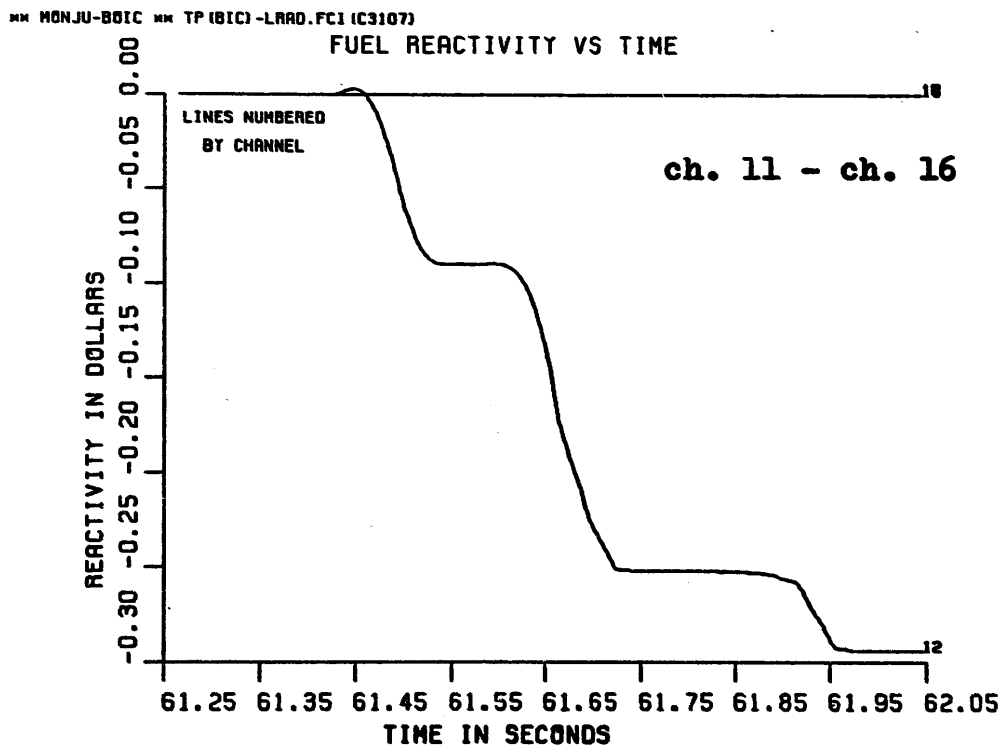
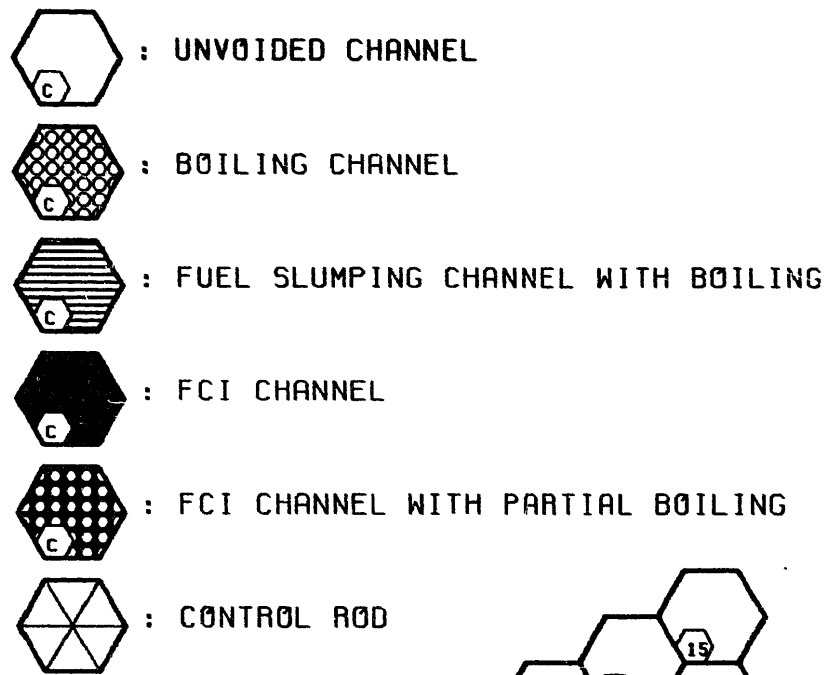
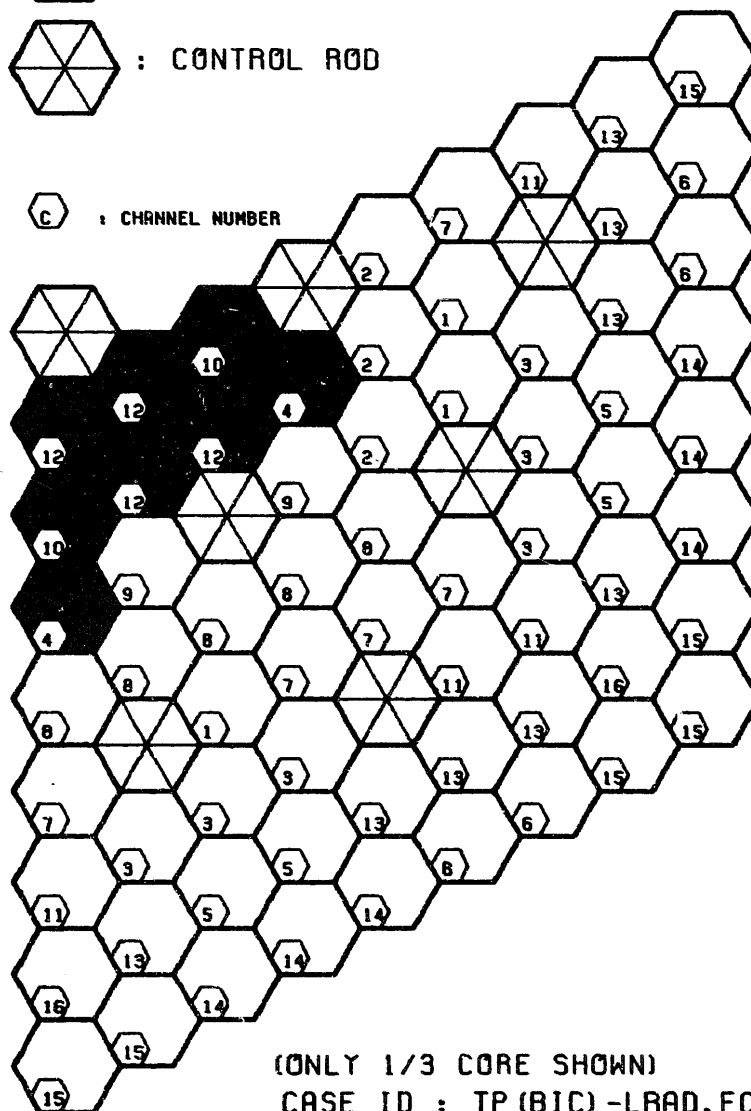


Fig.4.3-38 Coolant reactivity trace, FCI zone growth, and fuel reactivity change in ch.12 for TP.LRAD.FCI.C3107.



C : CHANNEL NUMBER



(ONLY 1/3 CORE SHOWN)

CASE ID : TP (BIC) -LRAD.FCI (C3107)

Fig.4.3-39 Core state at the end of initiating phase for BOIC TOP
Case ID : TP.LRAD.FCI.C3107

	4000 < T	K	ACTIVE CORE STATE :		
	3500 < T < 4000	K		MAX FUEL TEMP. (K)	=2974.1
	TMELT+1 < T < 3500	K		MIN FUEL TEMP. (K)	=1537.3
	TMELT-1 < T < TMELT+1	K		AVERAGE FUEL TEMP. (K)	=2514.4
	2000 < T < TMELT-1	K		TEMP. PEAKING FACTOR	=1.2
	T < 2000	K			

MOLTEN CORE STATE: TOTAL MOLTEN FUEL MASS (KG) = 13.5
MOLTEN FUEL AVERAGE TEMP. (K) = 2974.1
ENERGY ABOVE FUEL SOLIDUS (MJ) = 3.8

TP.LRAD.FCI (C3107) STP1800

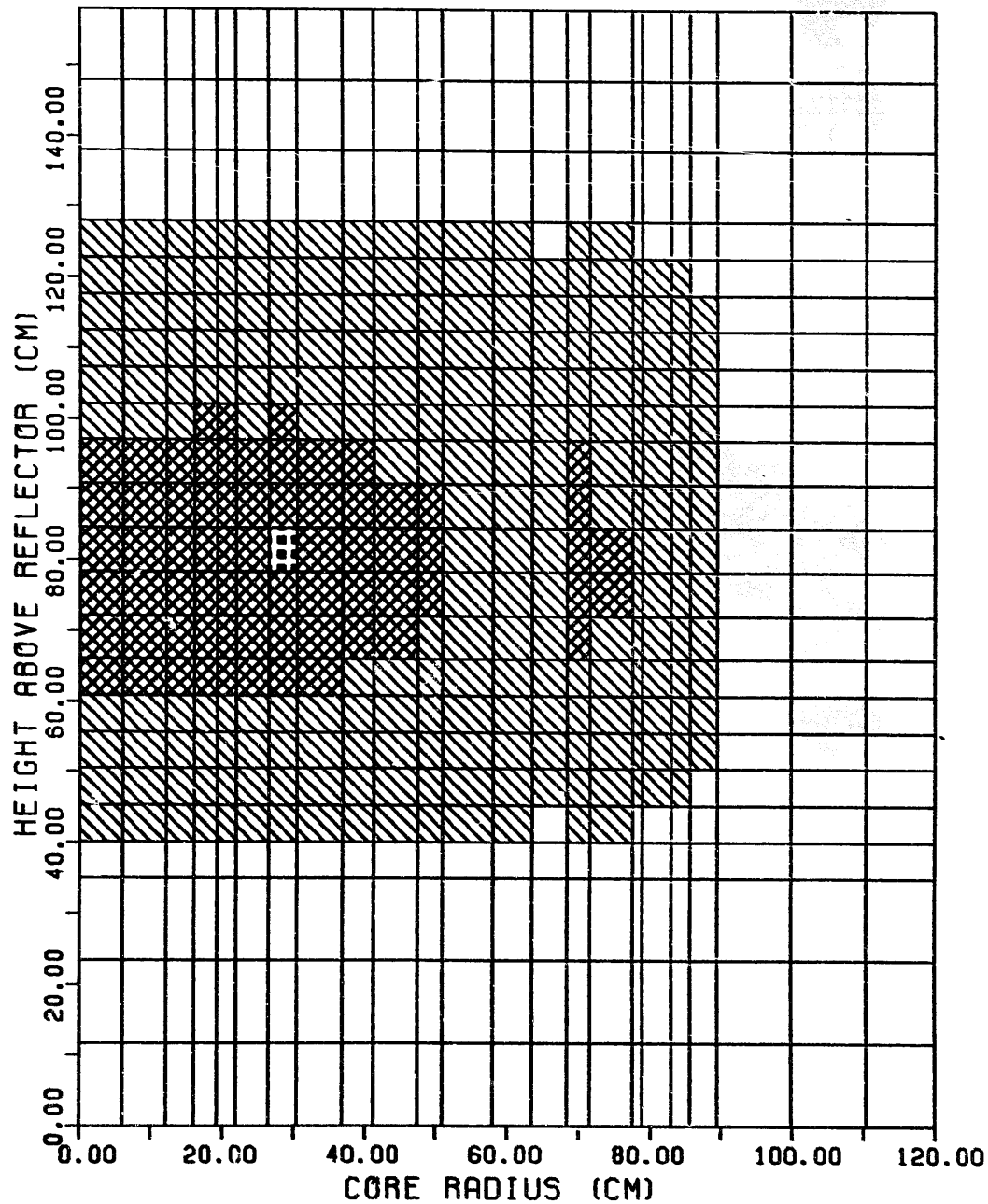
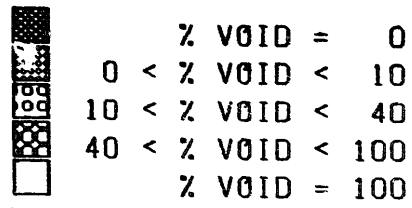


Fig.4.3-40 Fuel temperature distribution at the end of initiating phase for BOIC TOP. Case ID : TP.LRAD.FCI.C3107



TP.LRAD.FCI (C3107) STP1800

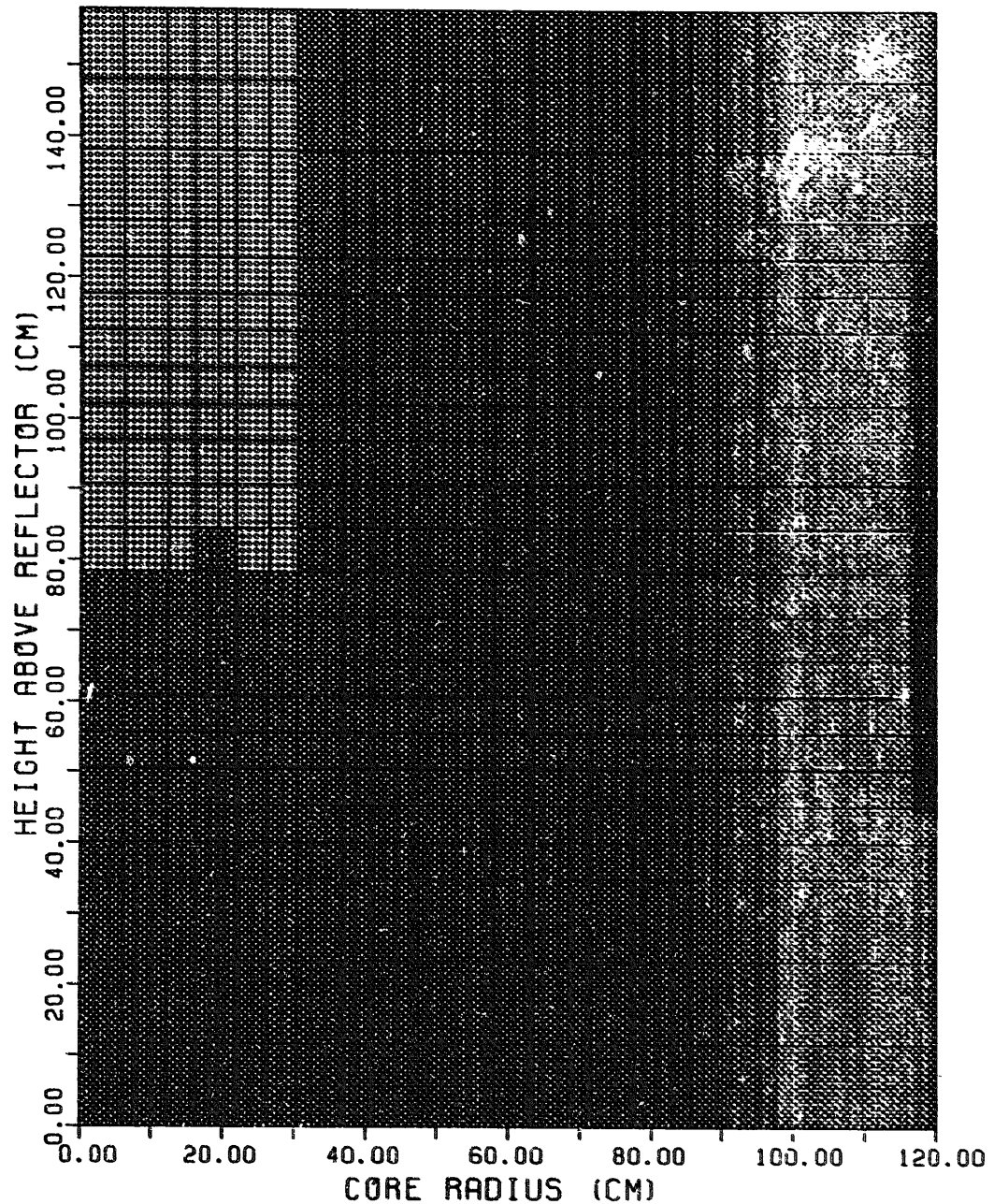


Fig.4.3-41 Coolant void distribution at the end of initiating phase for BOIC TOP. Case ID : TP.LRAD.FCI.C3107

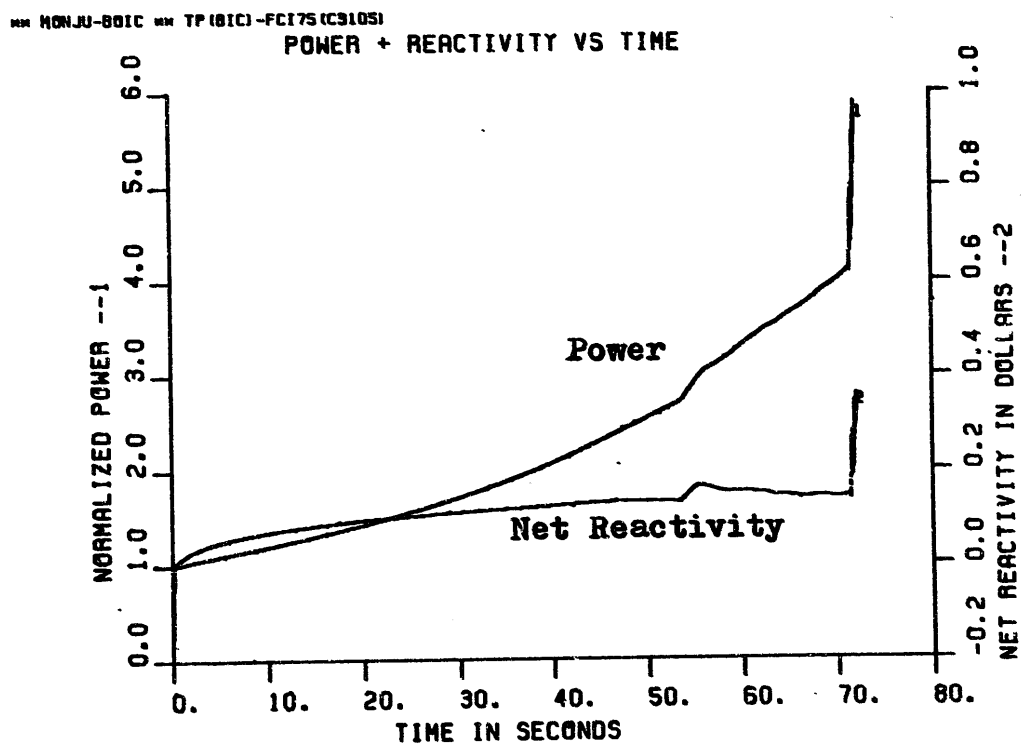
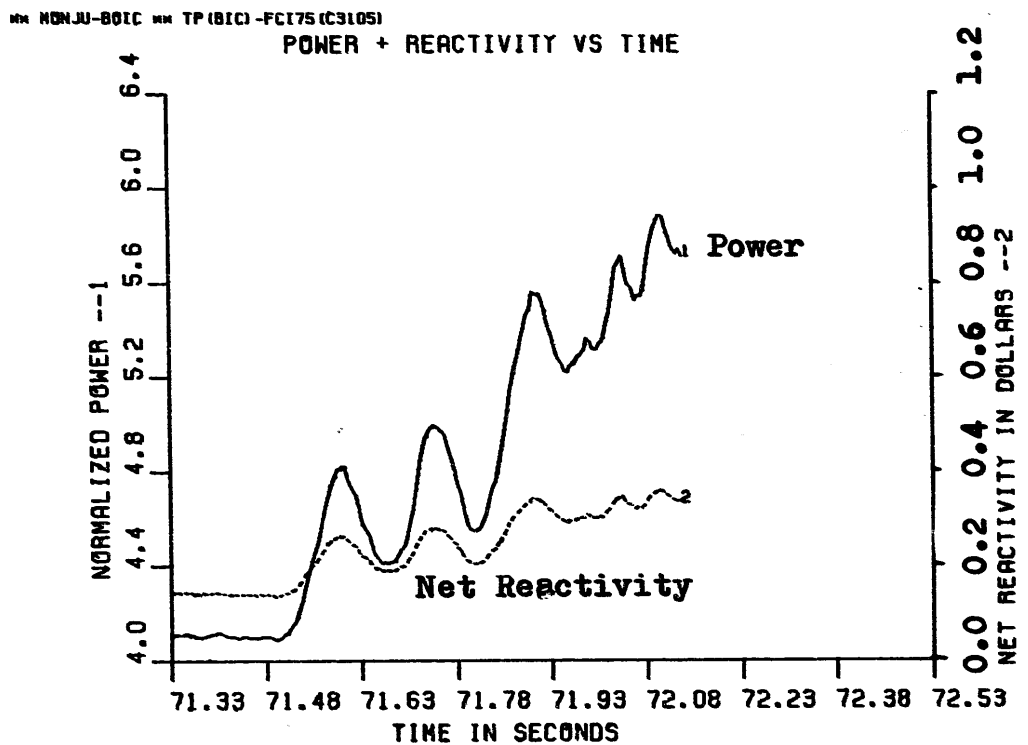
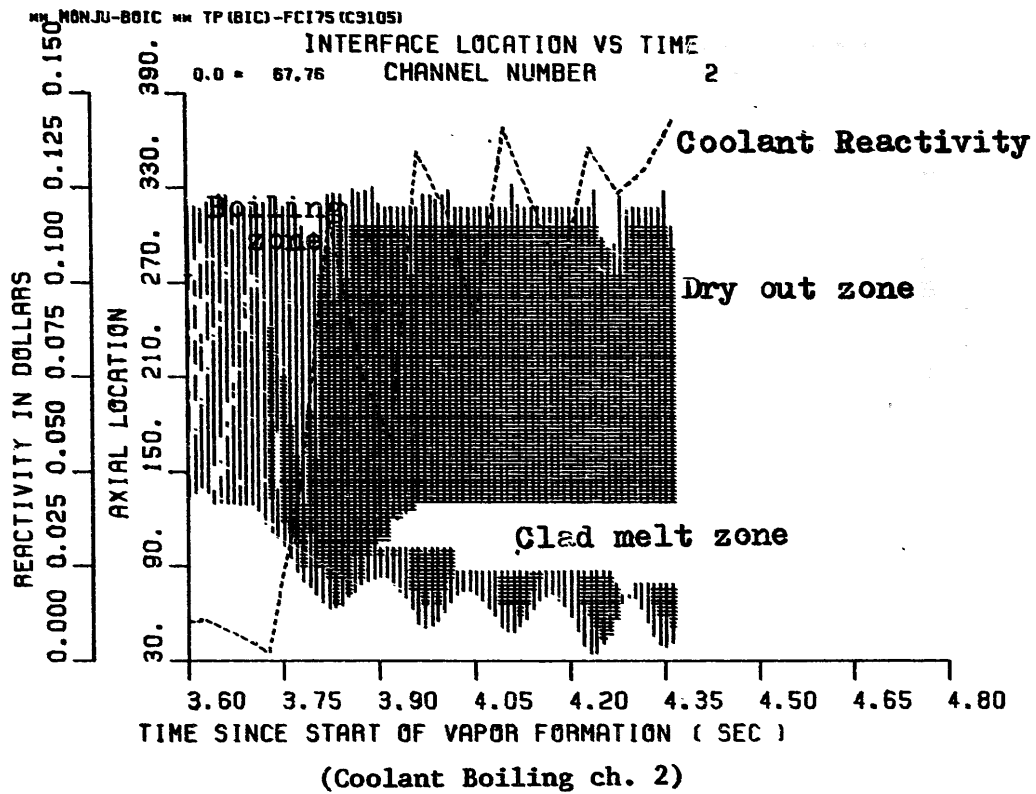
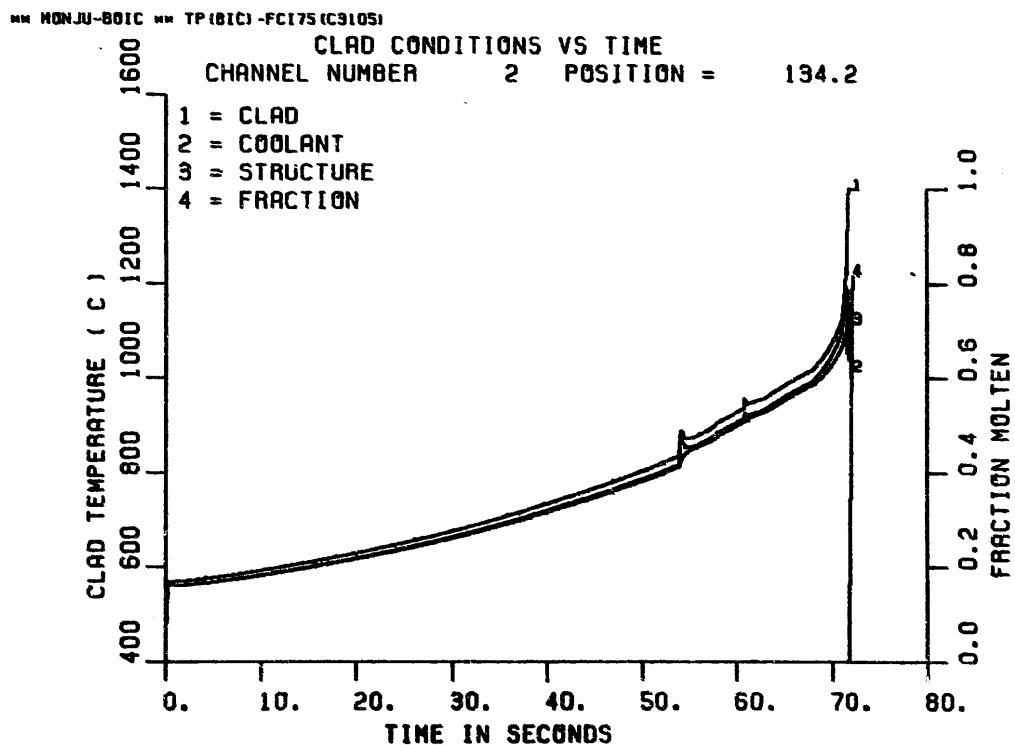


Fig.4.3-42 Power and net reactivity profiles for BOIC TOP
Case ID : TP.FCI75.C3105



Voiding Profiles in Channel 2 for BOIC TOP (TP.FCI75.C3105).



(Clad and Coolant Temperature ch. 2)

Fig.4.3-43 Coolant voiding profile, void reactivity trace, and cladding temperature change in ch.2 for TP.FCI75.C3105.

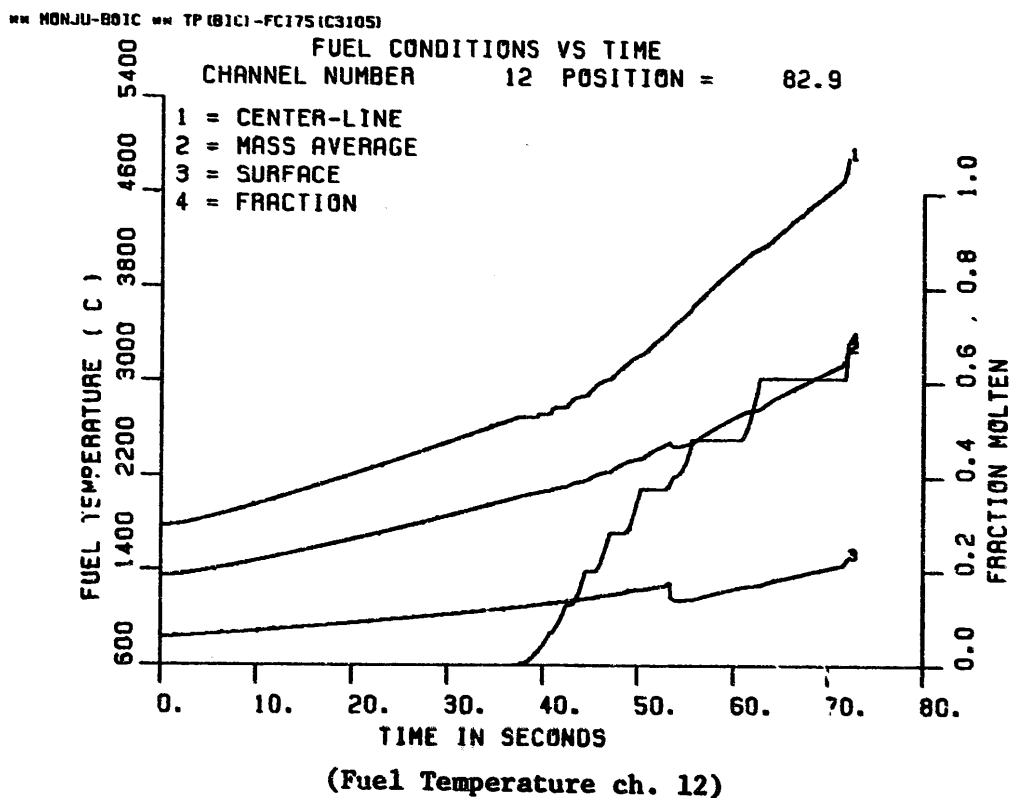
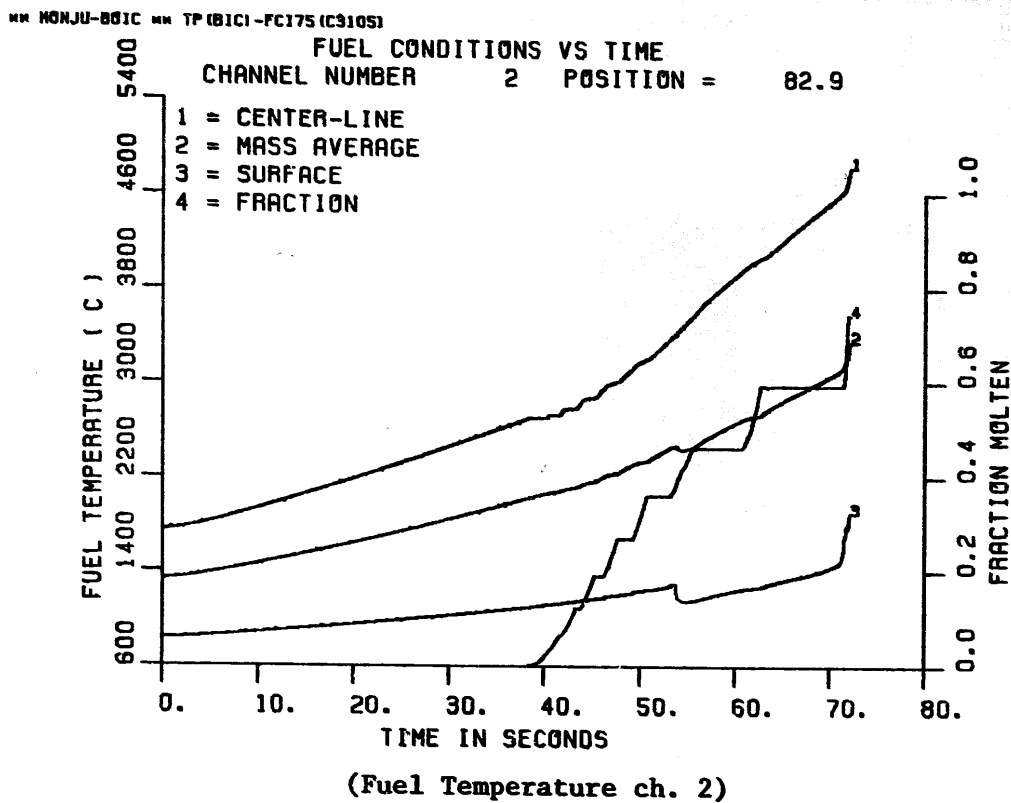


Fig.4.3-44 Fuel temperature histories in ch.2 and ch.12 for TP.FCI75.C3105.

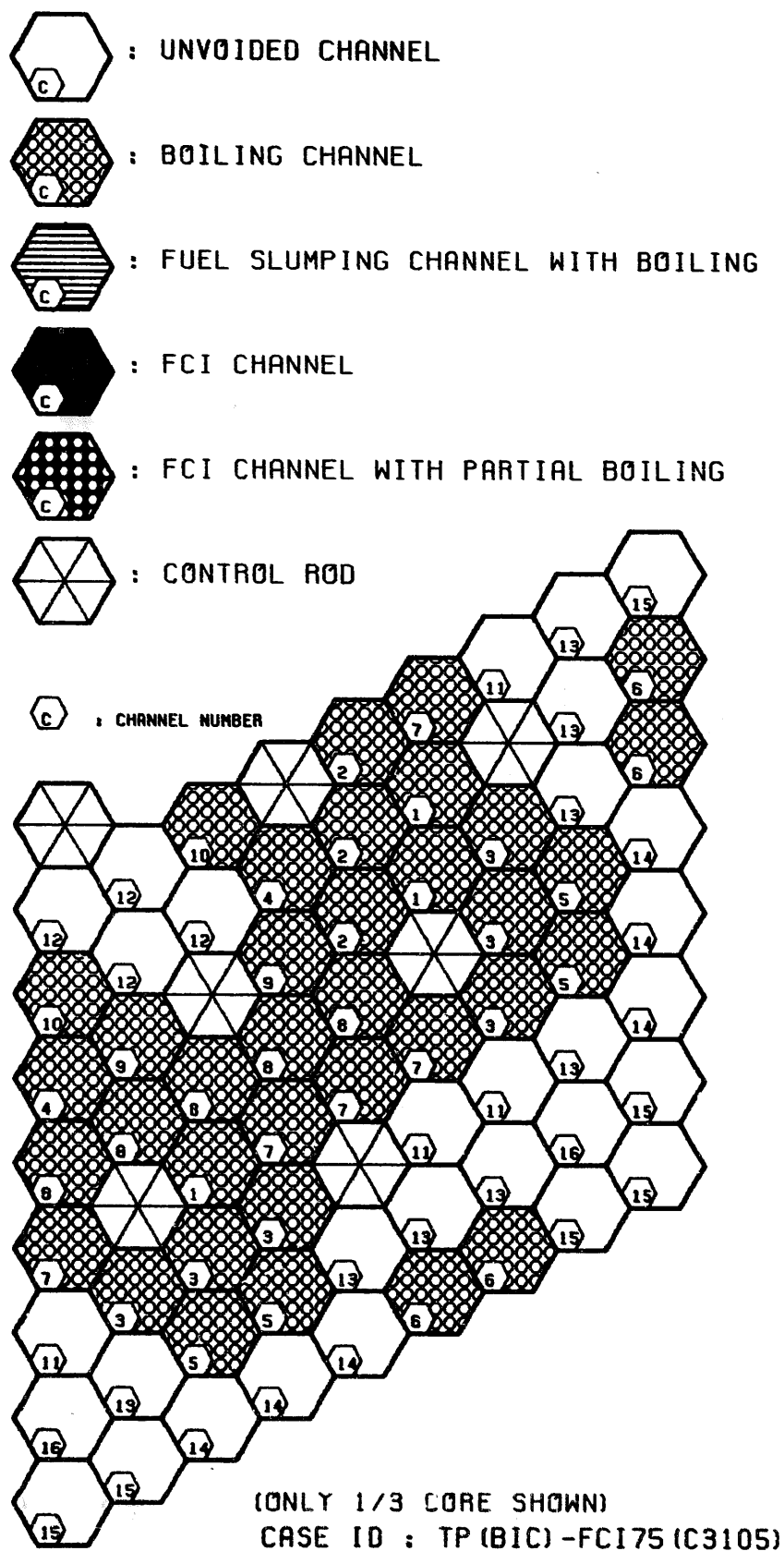


Fig.4.3-45 Core state at T=72.12 sec for BOIC TOP
Case ID : TP.FCI75.C3105

	4000 < T	K	ACTIVE CORE STATE :		
	3500 < T < 4000	K		MAX FUEL TEMP. (K)	=3488.9
	TMELT+1 < T < 3500	K		MIN FUEL TEMP. (K)	=1811.3
	TMELT-1 < T < TMELT+1	K		AVERAGE FUEL TEMP. (K)	=2866.2
	2000 < T < TMELT-1	K		TEMP. PEAKING FACTOR	=1.2
	T < 2000	K			

MOLTEN CORE STATE: TOTAL MOLTEN FUEL MASS (KG) = 2979.2
MOLTEN FUEL AVERAGE TEMP. (K) = 3092.5
ENERGY ABOVE FUEL SOLIDUS (MJ) = 1013.3

TP.FCI75 (C3105) STP1866

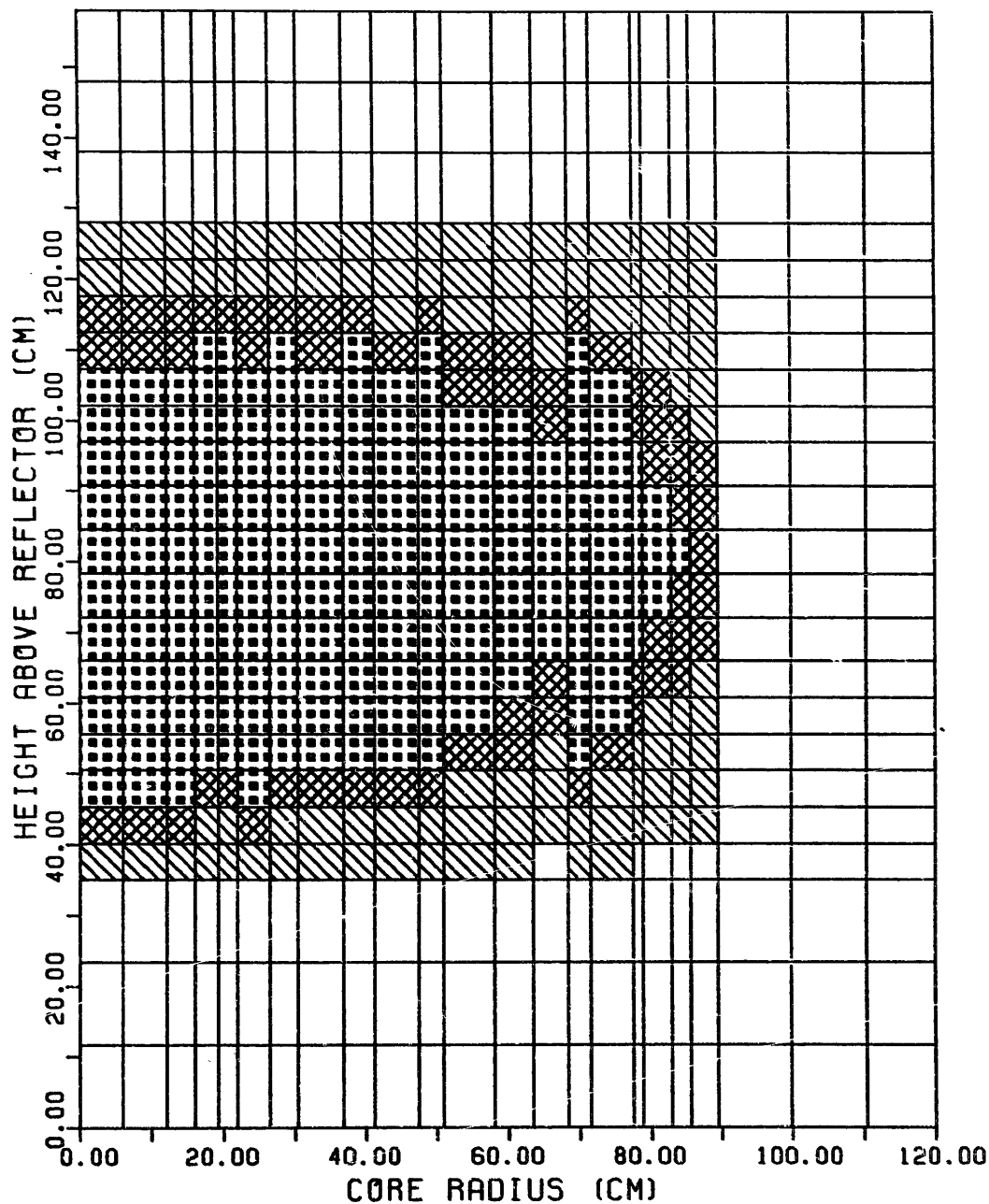
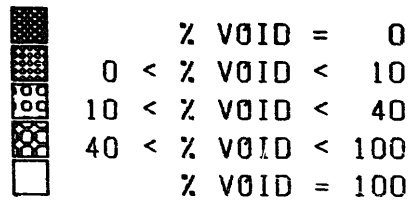


Fig.4.3-46 Fuel temperature distribution at T=72.12 sec for BOIC TOP
Case ID : TP.FCI75.C3105



TP.FCI75 (C3105) STP1866

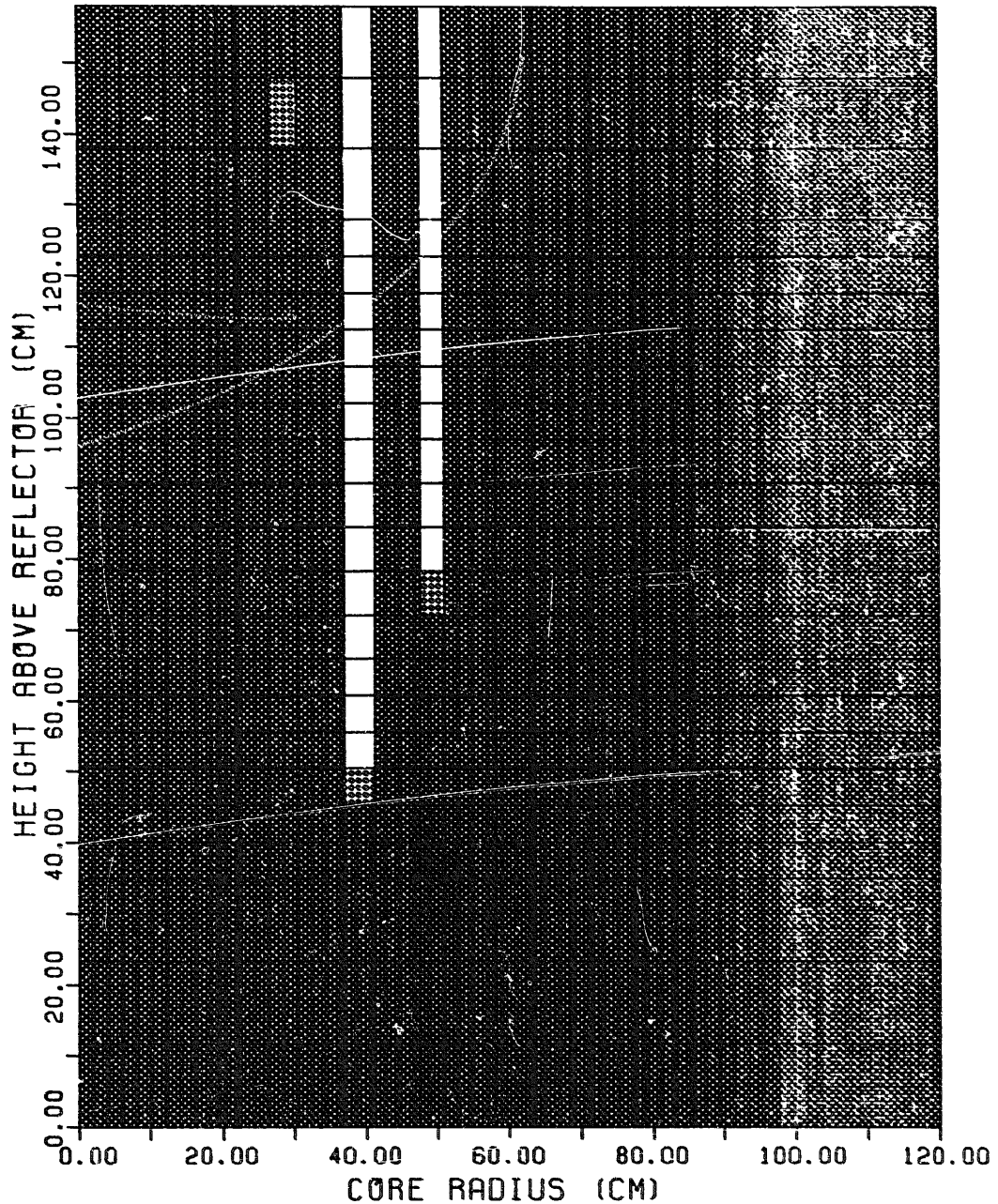


Fig.4.3-47 Coolant void distribution at T=72.12 sec for BOIC TOP
Case ID : TP.FCI75.C3105

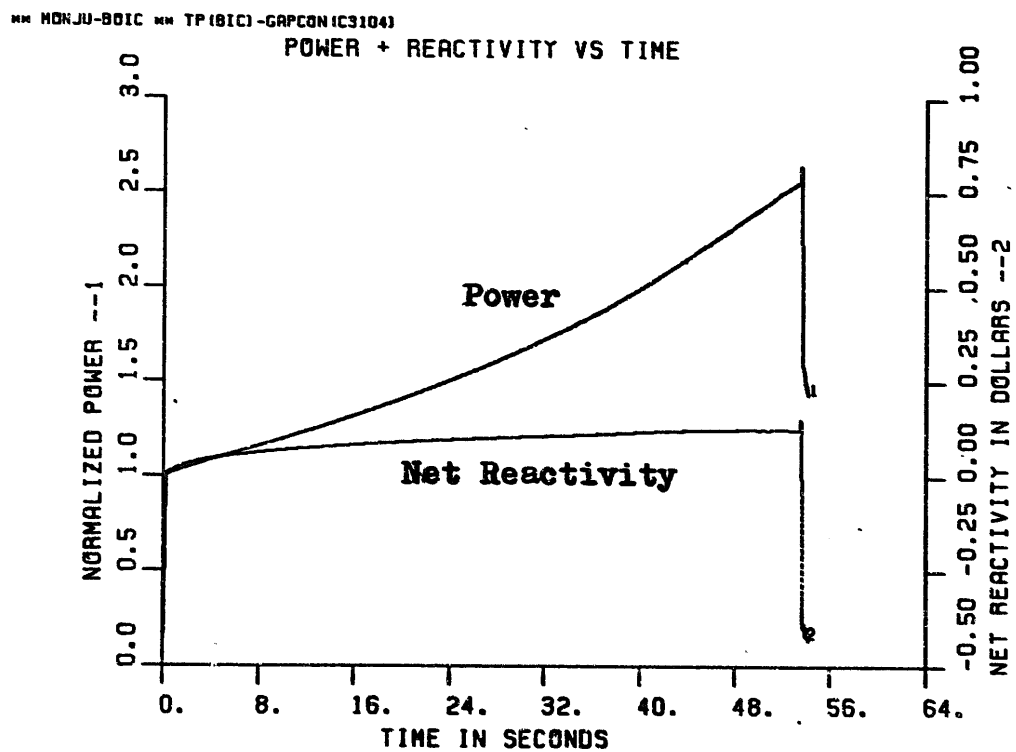
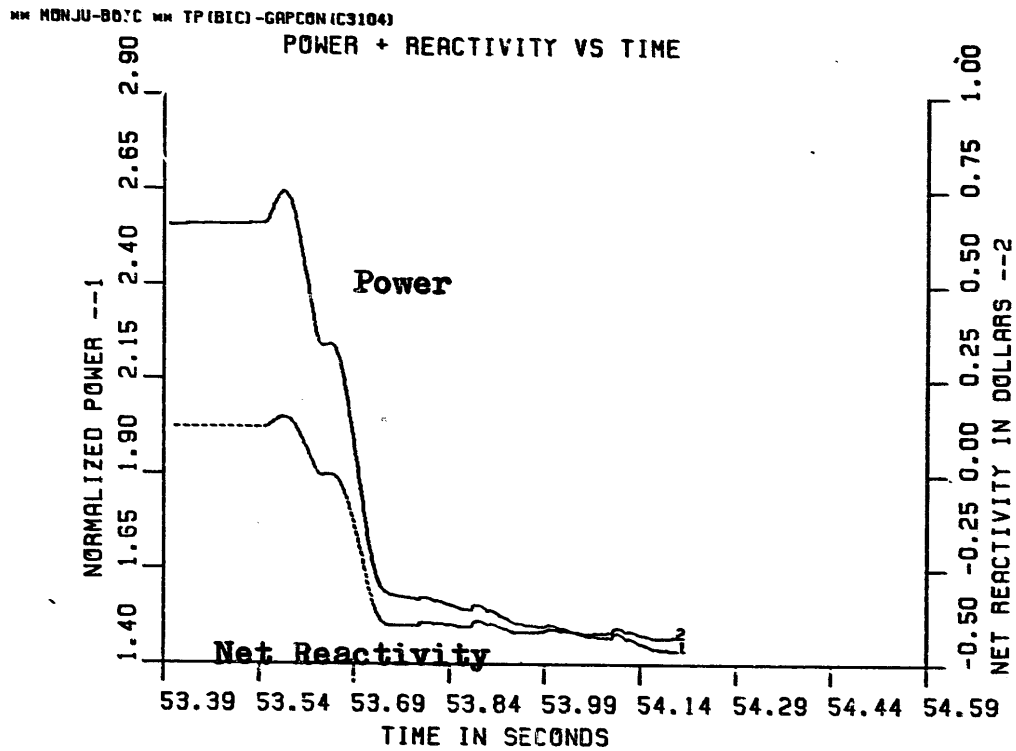
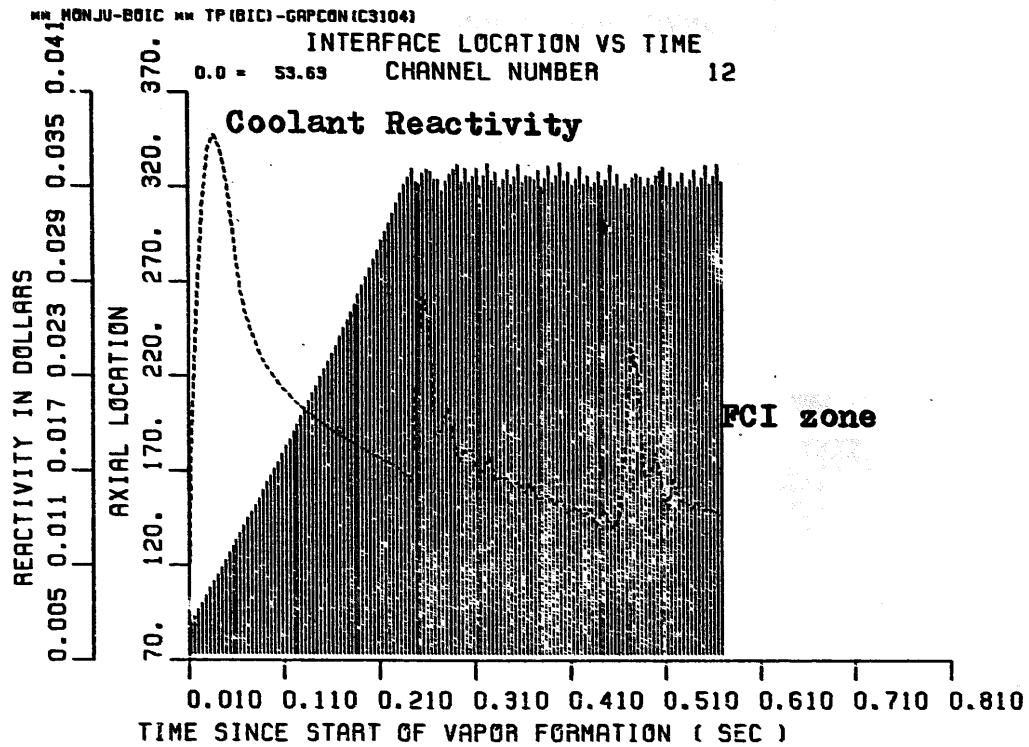


Fig.4.3-48 Power and net reactivity profiles for BOIC TOP
Case ID : TP.GAPCON.C3104



FCI Zone Growth in Channel 12 for BOIC TOP
(TP.GAPCON.C3104)

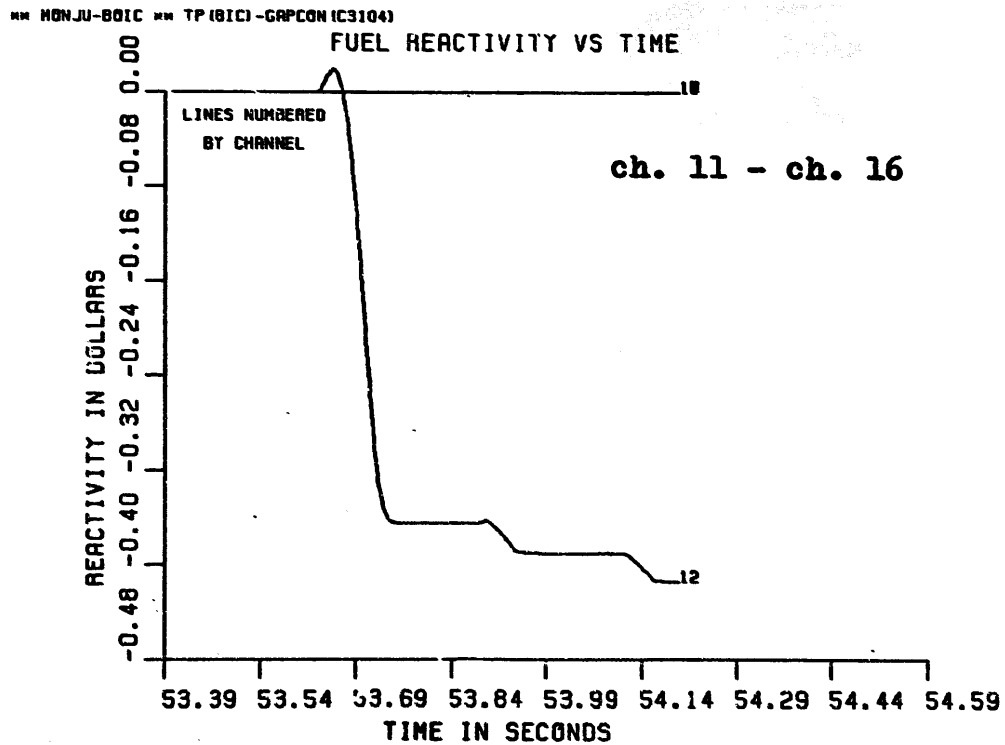
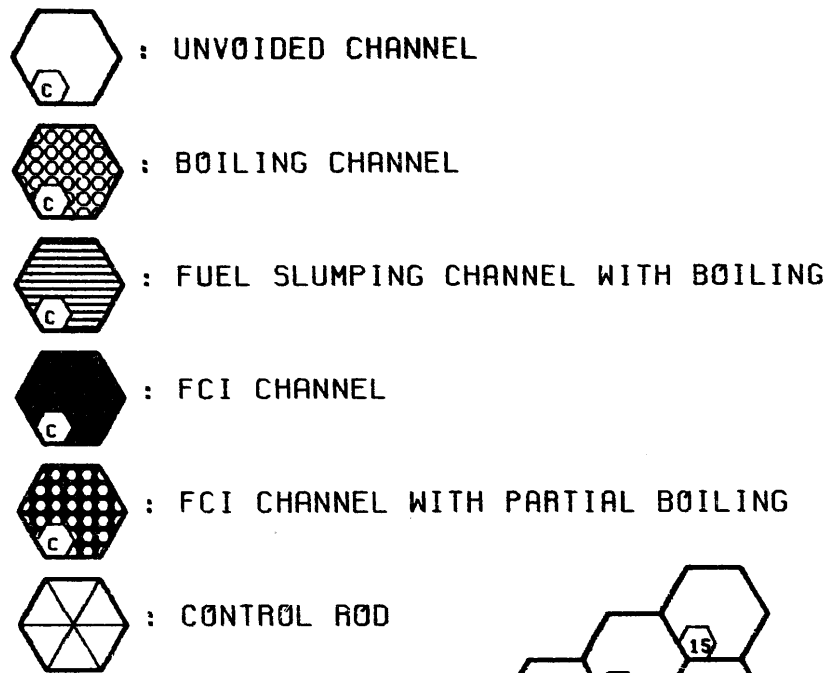
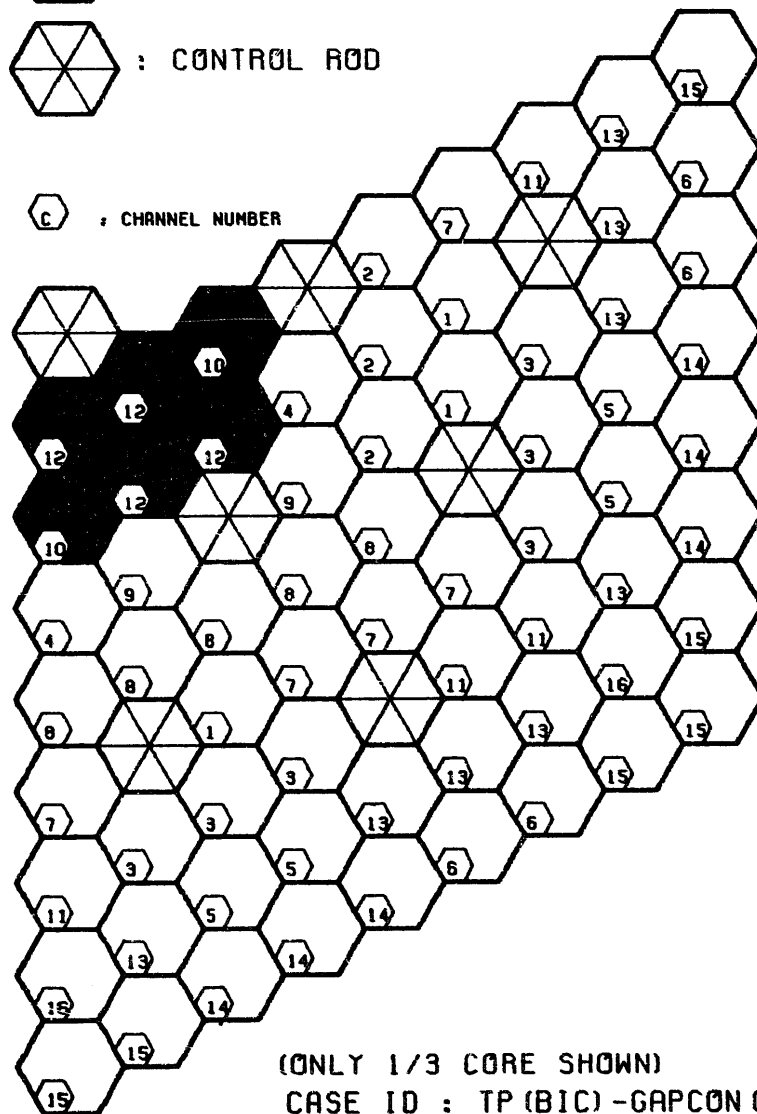


Fig.4.3-49 Coolant reactivity trace, FCI zone growth, and fuel reactivity change in ch.12 for TP.GAPCON.C3104.



 : CHANNEL NUMBER



(ONLY 1/3 CORE SHOWN)
CASE ID : TP (BIC) -GAPCON (C3104)

Fig.4.3-50 Core state at the end of initiating phase for BOIC TOP
Case ID : TP.GAPCON.C3104

	4000 < T	K	ACTIVE CORE STATE :		
	3500 < T < 4000	K		MAX FUEL TEMP. (K)	=2973.1
	TMELT+1 < T < 3500	K		MIN FUEL TEMP. (K)	=1414.7
	TMELT-1 < T < TMELT+1	K		AVERAGE FUEL TEMP. (K)	=2411.6
	2000 < T < TMELT-1	K		TEMP. PEAKING FACTOR	=1.2
	T < 2000	K			

MOLTEN CORE STATE: TOTAL MOLTEN FUEL MASS (KG)	= 0.0
MOLTEN FUEL AVERAGE TEMP. (K)	= 0.0
ENERGY ABOVE FUEL SOLIDUS (MJ)	= 0.0

TP.GAPCON (C3104) STP1600

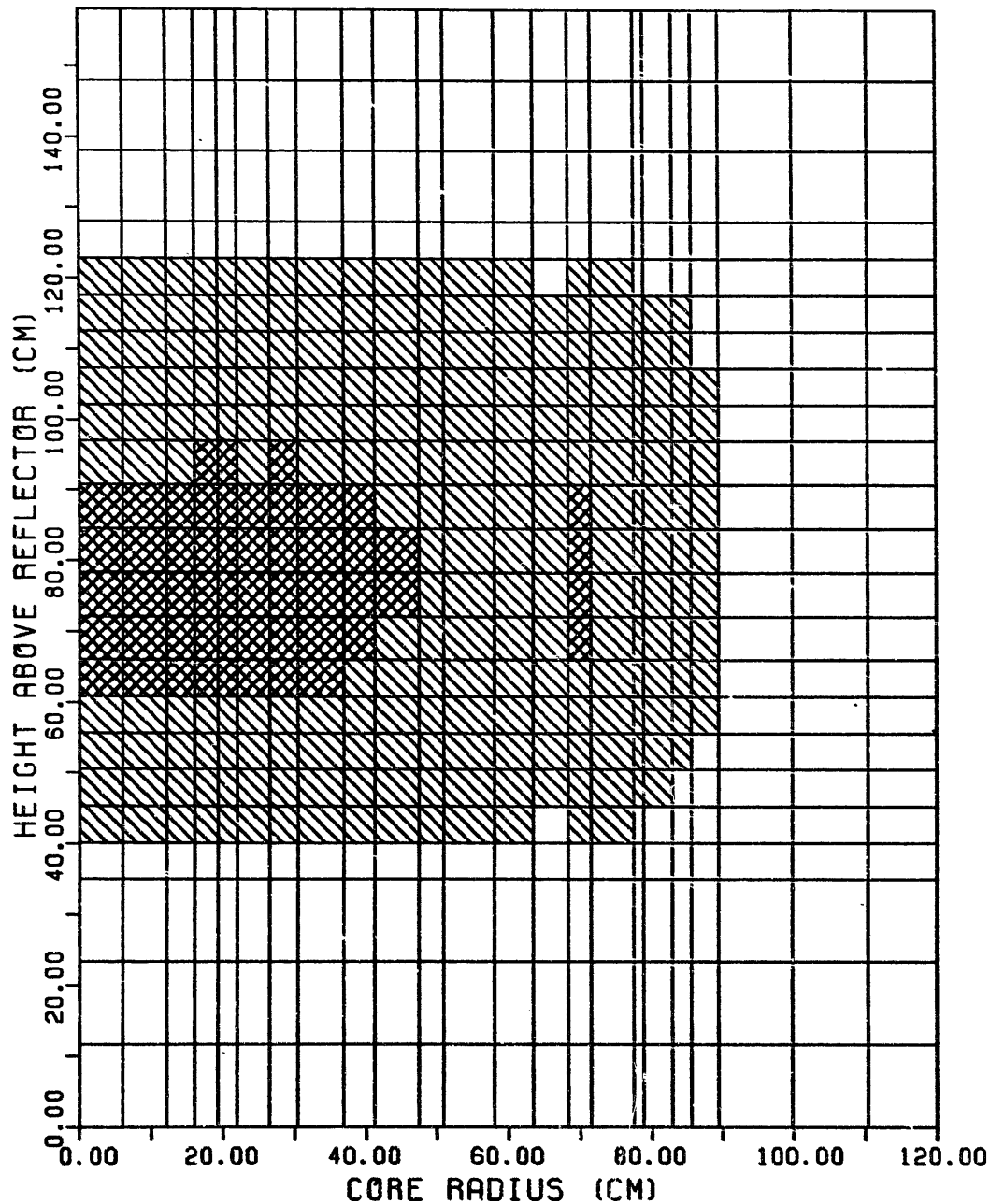
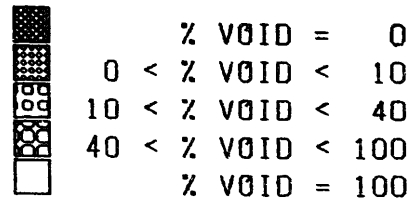


Fig.4.3-51 Fuel temperature distribution at the end of initiating phase for BOIC TOP. Case ID : TP.GAPCON.C3104



TP.GAPCON (C3104) STP1600

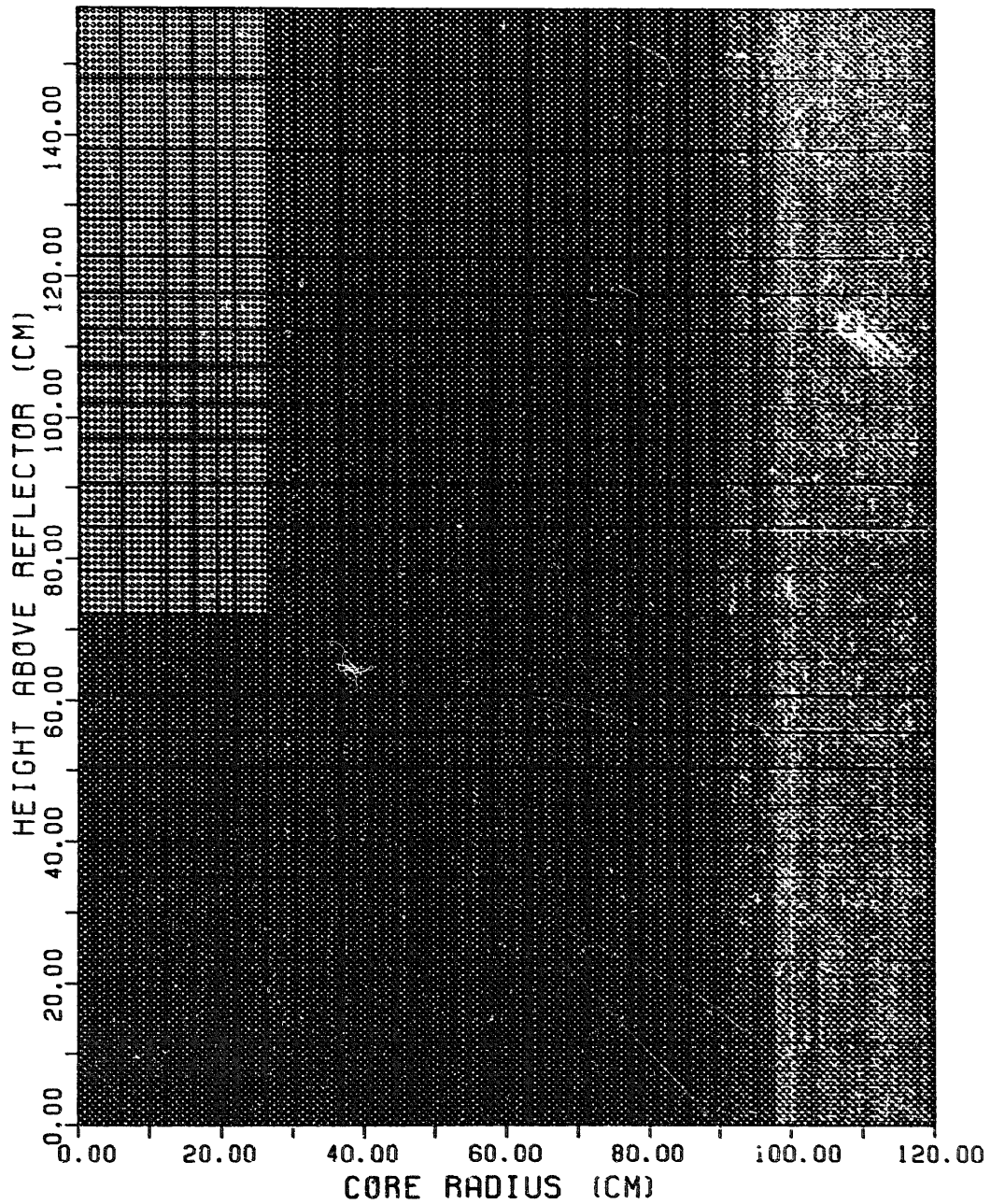
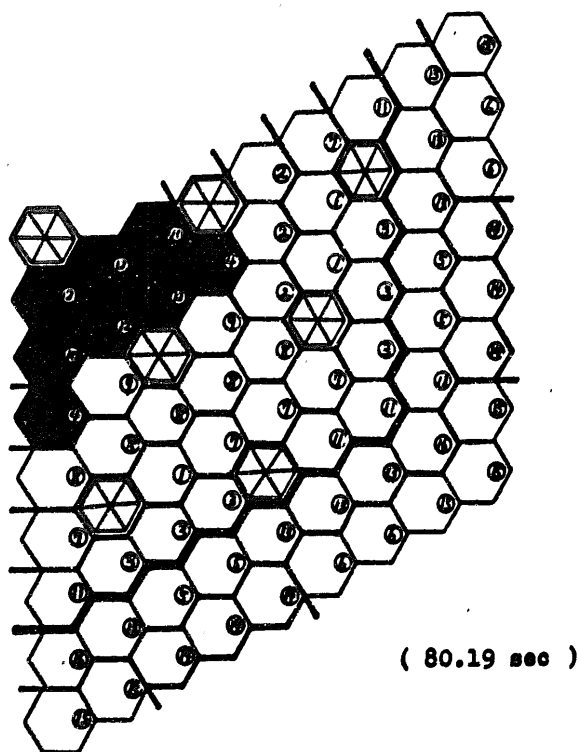


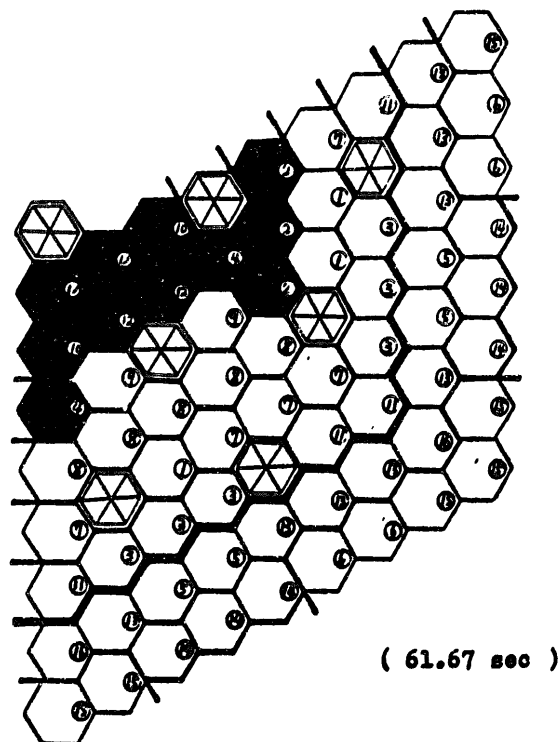
Fig.4.3-52 Coolant void distribution at the end of initiating phase for BOIC TOP. Case ID : TP.GAPCON.C3104

 : UNVOIDED CHANNEL
 : BOILING CHANNEL
 : FUEL SLUMPING CHANNEL WITH BOILING

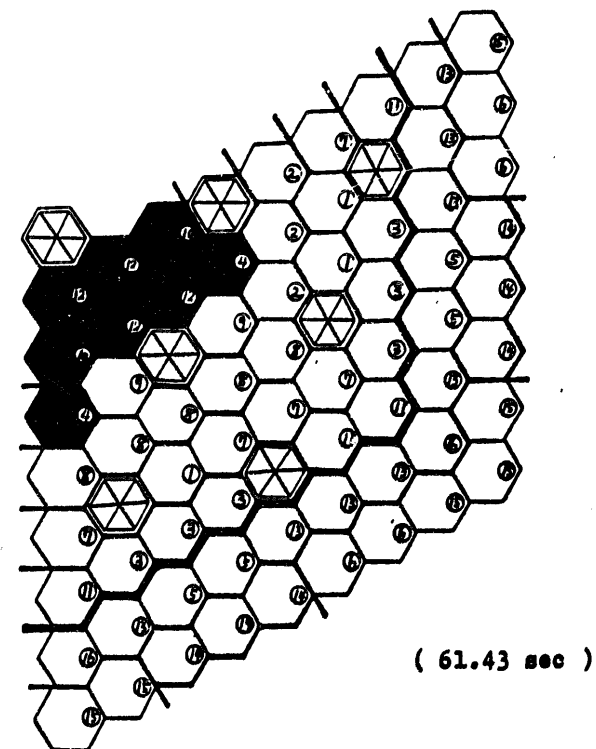
 : FCI CHANNEL
 : FCI CHANNEL WITH PARTIAL BOILING
 : CHANNEL NUMBER
 : CONTROL ROD



CASE ID : TP(BIC)-BE (C3100)



CASE ID : TP(BIC)-EXNRC(C3103)



CASE ID : TP(BIC)-RP(C3101)

Fig.4.3-53 Comparison of final core states for BE, EXNRC, and RP cases